DB21

辽 宁 省 地 方 标 准

DB21/TXXXX—2023

JXXXX—2023

预应力混凝土管桩基础技术规程

Technical specification for prestressed concrete tube pile foundation

2023-xx-xx 发布　　2023-xx-xx 实施

辽宁省住房和城乡建设厅

联合发布

辽宁省质量技术监督局

前　　言

根据辽宁省市场监督管理局关于印发《2022 年度辽宁省工程建设地方标准立项计划的通知》（辽住建[2022]20 号）的要求，由辽宁省建筑设计研究院有限责任公司对辽宁省地方标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》DB21/T1565-2015 进行修订。本次修订由辽宁省建筑设计研究院有限责任公司和建华建材（辽宁）有限公司负责主编，会同相关设计、科研、施工图审查、质量监督、管桩制作和施工单位共同组成编制组参加编写。

在修订过程中，在广泛调查研究的基础上认真总结了省内外使用预应力混凝土管桩的经验，对近年来出现的预应力管桩新桩型、施工新工艺进行了梳理和总结，扩大了管桩的应用范围。在静载试验和专项研究分析的基础上，对管桩的水平承载力、复合地基承载力等的计算参数进行了调整。对在 DB21/T1565-2015 版实施过程中发现的不合适的条文进行了调整，并与相关的现行国家、行业标准进行了协调。本规程共 10 章，9 个附录。主要内容：总则，术语及符号，基本规定，材料与分类，岩土工程勘察，管桩基础设计，管桩复合桩基础设计，管桩复合地基，施工，质量检测与验收等。

本规程修订的主要技术内容是：

1. 重新定义预应力混凝土管桩，增加“方箱形截面管桩”及“厚壁式管桩”桩型；
2. 增加“管桩复合桩基础设计”、“管桩复合地基”两章；
3. 增加“管桩可用于地上基础设施”的规定；
4. 增加“桩身混凝土防腐要求及防腐措施”；
5. 增加“新增桩型的承载力计算方法”
6. 增加“高频液压振动锤沉桩”和“植入法”沉桩方法；
7. 调整“管桩的材料和分类”；
8. 调整“沉桩工艺系数”；
9. 修改“桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 值”；
10. 修改“附录”内容。

本规程由辽宁省住房和城乡建设厅负责管理，具体解释工作由辽宁省建筑设计研究院有限责任

公司负责。在执行过程中，请各使用单位结合工程实践，认真总结经验，并将意见和建议寄交辽宁省建筑设计研究院有限责任公司转《预应力混凝土管桩基础技术规程》管理组（通信地址：沈阳市和平南大街 84 号，邮政编码 110005，E-mail: 13904050108@163.com）。

本规程主编单位：

辽宁省建筑设计研究院有限责任公司

建华建材（辽宁）有限公司

本规程参编单位：

中国建筑东北设计研究院有限公司

辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司

辽宁省交通规划设计研究院有限公司

辽宁省建设科学研究院有限责任公司

辽宁省石油化工规划设计院有限公司

沈阳铝镁设计研究院有限公司

大连市建筑设计研究院有限公司

辽宁省地矿集团能源地质有限责任公司

沈阳原构建筑设计有限公司

中国建筑设计集团有限公司辽宁分公司

沈阳北方测盟有限公司有限责任公司

营口市经济技术开发区施工图审查中心

沈阳华域建筑设计有限公司

沈阳天华建筑设计有限公司

基准方中沈阳分公司

沈阳都市建筑设计有限公司

广东博意建筑设计院有限公司

本规程主要起草人：李庆钢 孙强 张丙吉 张海东 霍剑峰 赵东阳 褚晓川 夏庆鹏 陈晨 齐东成 梁峰 李德江 罗锐跃 文元 崔毅 曾升 陈龙 高诺 邢宝泉 佟兴龙 张福波 舒昭然 徐向军 孙德良 任海东 侯建秋 尹钢 艾纯志

本规程主要审查人：

目　次

1　总则 ……1
2　术语和符号 ……2
2.1　术 语 ……2
2.2　符 号 ……4
3　基本规定 ……6
4　材料与分类 ……9
4.1　材料 ……9
4.2　分类 ……9
5　管桩基础的岩土工程勘察 ……11
5.1　一般规定……11
5.2　勘察报告 ……12
6　管桩基础设计 ……14
6.1　一般规定 ……14
6.2　桩基计算 ……17
6.3　构造要求 ……27
7　管桩复合桩基础设计 ……29
7.1 水泥土劲性复合桩 …… 29
7.2 机械成孔劲性复合桩……31
8　管桩复合地基 ……33
8.1　一般规定 ……33
8.2　设计 ……33
9　管桩基础施工 ……35
9.1　一般规定 ……35
9.2　管桩的堆放及吊运 ……38
9.3　液压式静力压桩机具 ……39

9.4 锤击式打桩机具 ……40
9.5 静力压桩 ……41
9.6 锤击打桩 ……44
9.7 高频液压振动锤沉桩 ……45
9.8 植入法沉桩 ……46
9.9 截桩及缺陷桩处理 ……47
10 质量检测和工程验收 ……49
10.1 桩身及桩尖的检查和检测 ……49
10.2 压桩过程中的工程质量检查和检测 ……50
10.3 打桩过程中的工程质量检查和检测 ……52
10.4 植桩过程中的工程质量检查和检测……53
10.5 成桩质量检测 ……54
10.6 验证与扩大检测……57
10.7 工程验收 ……58

附录 A 管桩的结构形式、桩身配筋及力学性能表……59

附录 B 按桩顶水平位移控制的单桩水平承载力特征值计算表…… ……82

附录 C 管桩的尺寸允许偏差及检验方法 ……87

附录 D 管桩的外观质量 …… ……88

附录 E 选择静力压桩机参考表 ……89

附录 F 选择打桩锤参考表……90

附录 G 静力沉桩施工记录表 ……**91**

附录 H 静压桩竖向抗压极限承载力与终压力的经验关系公式 ……**93**

附录 I 锤击沉桩施工记录表 ……**94**

附录 J 植入法沉桩施工现场记录表 ……**96**

本规程用词说明 ……**99**

引用标准名录 ……**100**

附：条文说明 ……102

1 总　　则

1.0.1　为了在先张法预应力混凝土管桩（以下简称管桩）设计与施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于辽宁省建筑工程管桩的勘察、设计、施工、质量检测和工程验收，其他工程中采用管桩时可参考使用。

1.0.3　管桩基础设计，应根据桩基基础设计等级、岩土工程勘察资料、结构类型、施工条件、工程造价及使用要求等因素，做到因地制宜、方案优化。

1.0.4　管桩施工，应根据设计要求、地质条件、环境保护要求，选择施工方法和施工机械，采取措施避免挤土效应对邻近建筑物产生影响。

1.0.5 管桩的设计和施工应相互配合，应考虑施工方法及沉桩深度对单桩承载力的影响，共同研究，及时对桩的承载力和桩数作出必要的调整。

1.0.6　管桩的设计、施工与验收，除应符合本规程外，尚应符合《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003、《建筑地基基础设计规范》 GB50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等国家、行业及辽宁省现行有关标准、规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.1 预应力混凝土管桩　prestressed concrete tube piles (be called “tube-pile” below)

采用离心和预应力工艺成型的圆环形截面或方箱型截面的预应力高强混凝土桩，统称为管桩。

2.1.2 管桩基础　tube-pile foundation

由沉入土（岩）层中的管桩和连接于桩顶的承台共同组成的建（构）筑物基础。

2.1.3 静力压入法　method of static pressing of pile

利用压桩机把管桩压入地基土中的一种施工方法，简称静压法。

2.1.4 引孔沉桩法　method of penetrating pile in a predrilled hole

预先用钻机在桩位处钻孔，然后将桩体放入孔内，再用静压或锤击沉桩的作业法。

2.1.5 复压　method of repeated pressing

静压桩施工终压后，经间隔一段时间再次施压的作业法。

2.1.5 抱压式液压压桩机　hold type hydraulic pressing pile machine

通过液压式传力机构抱住桩身向下施压的一种静压桩施工机械，由桩架、行走机构、液压机构、导向夹持机构和配重等部件组成。

2.1.6 终压标准　control standard of final pressing

为满足静压桩设计要求而确定的终止压桩施工的控制措施和条件。

2.1.7 终压力值　final pressure value

达到终压控制标准而终止压桩时的最后压桩力。

2.1.8 锤击贯入法　hammer-driving method

利用打桩设备（柴油锤或液压锤）的锤击能量将桩沉入土（岩）层一定深度的施工方法。

2.1.9 收锤标准　condition for stoping hammering

将桩端打至设计要求时终止锤击的施工控制条件。

2.1.10 最终贯入度　final set

采用锤击打桩终止锤击时的贯入度。

2.1.11 喂桩　Pile loading

将静压桩吊入压桩机夹持机构的一道施工工序的俗称。

2.1.12 送桩　tube-pile following

沉桩过程中，借助送桩器将桩顶沉至地面以下一定深度的施工工序。

2.1.13 管桩劲性复合桩 strength composite tube-pile

水泥土或混凝土与预应力混凝土管桩相复合的一种桩型。

2.1.14 植入法 method of planting pile

预先用钻机在桩位处钻孔或采用搅拌、旋喷成桩，然后将管桩植入其中的施工方法。

2.1.15 填芯混凝土 filling concrete for tube-pile head

灌填在管桩顶部内腔的混凝土。

2.2 符 号

2.2.1 抗力和材料性能

f_c——管桩混凝土轴心抗压强度设计值；

f_n——填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值；

f_y——钢筋的抗拉强度设计值；

f_{py}——管桩预应力钢筋的抗拉强度设计值；

q_{sia}——单桩第 i 层土（岩）的侧阻力特征值；

q_{pa}——单桩的端阻力特征值；

R_a——单桩竖向抗压承载力特征值；

R_{ha}——单桩水平承载力特征值；

R_m——桩身的抗弯承载力设计值；

R_p——管桩桩身结构竖向抗压承载力设计值；

R_{ta}——单桩竖向抗拔承载力特征值；

$^{3}{}_{ce}$——管桩混凝土有效预压应力值；

E_c——管桩桩身混凝土的弹性模量；

p_{jmax}——桩身抱压允许压桩力。

2.2.2 作用和效应

F_k——相应于荷载效应标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力；

G_k——桩基承台及承台上土自重标准值；

G_p——桩身自重；

H_k——相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面的水平力；

H_{ik}——相应于荷载效应标准组合时，作用于任一根桩桩顶的水平力；

M_{xk}、M_{yk}——相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面、通过群桩形心 x、y 轴的弯矩;

M——相应于荷载效应基本组合时的单桩弯矩设计值；

N——修正后的标准贯入击数；

N'——实测的标准贯入击数；

Q ——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值；

Q_k——相应于荷载效应标准组合时的轴心竖向力作用下任一根桩的竖向力；

Q_{ik}——相应于荷载效应标准组合时的偏心竖向力作用下第 i 根桩的竖向力；

Q_t——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向拔力设计值;

Q_{tk}——相应于荷载效应标准组合时，作用于单桩顶部的竖向拔力；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值。

2.2.3 几何参数

A——管桩截面面积；

A_a——预应力钢筋的公称截面面积；

A_p——桩端面积；

A_s——管桩内孔连接钢筋总公称截面面积；

A_o——管桩截面换算面积；

D——管桩外直径；

D_1——管桩内直径；

d_p——预应力钢筋在管桩横截面上的分布圆直径；

h——管桩入土深度；

h_b——桩端进入土深度；

I——管桩横截面惯性矩；

L——单节桩长；

L_a——桩顶填芯混凝土深度；

l_i——管桩穿越第 i 层土（岩）的厚度；

u_p——桩身外周长；

u_{pn}——管桩内孔圆周长。

2.2.4 计算系数

Ψ_c——成桩工艺系数；

λ_i——抗拔摩阻力折减系数。

3 基本规定

3.0.1 管桩的结构形式、桩身配筋及相关参数宜符合本规程附录 A 的规定。

3.0.2 管桩适用于低桩承台中的基桩、劲性复合桩中的劲性桩和复合地基中的增强体等受压为主的构件；也可作为支挡桩、地面以上电力设施、交通设施等压弯或纯弯为主的竖向承重构件。当管桩作为压弯或受弯为主的竖向承重构件时，应进行正截面承载力、斜截面承载力和裂缝控制计算。

3.0.3 岩土工程勘察报告有关管桩选用的评价应包括下列内容：

1 评价管桩应用于该场地的适宜性；

2 当场地中存在孤石、坚硬夹层、障碍物、岩洞、土洞和构造断裂等不良地质条件时，评价沉桩可行性并提出可行的沉桩方法或替代施工方案。

3.0.4 管桩可穿越各类软土、素填土、可塑状态黏性土、粉土、松散及稍密的砂土，进入硬塑或坚硬状态黏性土、中密及中密以上砂土、碎石土、强风化岩及中风化极软岩一定深度。当需穿过硬土层或进入硬土层较深时，应通过现场沉桩试验确定其适用性。当沉桩施工遇到以下情况时，宜选用引孔沉桩或植入法沉桩：

1 影响桩身质量、邻近建（构）筑物、地下管线的正常使用和安全时；

2 当遇到密实的砂土、碎（卵）石土等硬土夹层，桩端难于沉到设计标高时；

当存在下列地质条件不宜采用或慎用管桩：

1 当遇到坚硬岩、较硬岩层或遇到漂石、孤石时；

2 桩端持力层为遇水易软化且埋藏较浅的风化岩层；

3 基岩面上没有合适持力层的岩溶地层。

3.0.5 管桩基础设计等级划分为三个设计等级，管桩基础设计时应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定确定设计等级。

3.0.6 管桩用作摩擦型桩时，其长径比不宜大于 100；管桩用作端承型桩时，其长径比不宜大于 80；当管桩穿越厚度较大的淤泥及淤泥质土或可液化土层时，其长径比不宜大于 50，且应考虑桩身的稳定及其对承载力的影响。

3.0.7 管桩的耐久性应满足设计使用年限的要求。

3.0.8 地基土和地下水对管桩的腐蚀性等级，应按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50046、《岩土工程勘察规范》GB50021、和《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046 等有关

规定确定。

3.0.9 管桩混凝土及桩身防腐要求应符合表 3.0.9-1 和表 3.0.9-2 的规定。

表 3.0.9-1 管桩混凝土防腐要求

混凝土最低强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋最小保护层厚度（mm）	CL^{-1} 含量（%）	碱含量（kg/m^3）	胶材最小用量（kg/m^3）
C80	0.35	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	430

注：1 表中所列要求为设计年限为 50 年，设计使用年限为 100 年时的材料要求应专项论证。

2 处于现行《混凝土结构设计规范》规定的环境等级为二 a、二 b、三 a、三 b 时，最外层钢筋的混凝土保护层最小厚度分别不应小于 20mm、35mm、40mm、50mm。

表 3.0.9-2 管桩桩身防腐要求

保护措施和要求		腐蚀性介质和强度等级								
		SO^{2-}_4			CL^-			PH 值		
		强	中	弱	强	中	弱	强	中	弱
提高桩身混凝土耐腐蚀性能	电通量(C)	≤800	≤1000	可不防护	≤800	≤1000	可不防护	≤500	≤800	可不防护
	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.85		——	——		——	——	
	氯离子迁移系 D_{RCM}（$10^{-12}\ m^2/s$）				≤4.0	≤7.0		——	——	

3.0.10 当管桩桩身防腐不满足本规程表 3.0.9-2 规定的防腐指标要求时，应采取相应措施进行防护，并应符合表 3.0.10 的要求。

表 3.0.10 管桩桩身防护要求

保护措施和要求	腐蚀性介质和强度等级								
	SO^{2-}_4			CL^-			PH 值		
	强	中	弱	强	中	弱	强	中	弱
1、增加钢筋混凝土保护层厚度（mm）	≥10	≥5	可不防护	≥10	≥5	可不防护	≥10	≥5	可不防护
2、表面涂刷防腐蚀涂	≥500	≥300		≥500	≥300		≥500	≥300	

层厚度（μm）									

注：1 本表适用于设计使用年限为 50 年，桩基础所处的地下水、土的腐蚀介质主要为硫酸盐、氯盐和酸环境。当其他腐蚀介质或 PH≤2.0 时，以及设计使用年限为 100 年时，防护措施应专项论证。

2 桩身混凝土材料可根据防腐蚀要求，采用抗硫酸盐硅酸盐水泥、也可在普通水泥中掺入抗硫酸盐的外加剂、矿物掺合料、钢筋阻锈剂。

3 管桩不得单独采用亚硝酸盐类的阻锈剂。

4 在中、强腐蚀环境中，预应力混凝土管桩有效壁厚不应小于 95mm。

5 桩身涂刷防腐蚀涂层的长度，应大于污染土层的厚度。

6 当有两类以上腐蚀性介质同时作用时，应分别满足各自防护要求，但相同的防护措施不叠加。

3.0.11 管桩基础应减少接桩数量，接头宜位于非污染土层中，可采用焊接或机械接桩、位于污染土层中的桩接头，接桩钢零件应涂刷防腐蚀耐磨涂层或增加钢零件厚度，其腐蚀裕量不小于 2mm，也可采用热收缩聚乙烯套膜保护。

3.0.12 当管桩的表面涂有防腐蚀涂料时，在估算单桩承载力时，可不计入涂层范围内的桩侧阻力。

3.0.13 管桩的其他防护尚应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046 的规定。

3.0.14 管桩用混凝土的耐久性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 的有关规定。

3.0.15 处于环境类别一类、二类的管桩，受弯时，裂缝控制等级为二级；桩身轴心受拉时，裂缝控制等级为一级。处于环境类别三类及以上的管桩，裂缝控制等级为一级。

3.0.16 管桩的施工监控应保证桩身完整、无损伤、沉桩方法的选用应根据具体的地质情况、工程特点、场地施工条件以及挤土、施工振动、噪声等对周边环境和安全影响等因素确定。

3.0.17 管桩的施工前宜在现场进行沉桩工艺试验、当采用锤击法施工工艺时，宜同时进行沉桩工艺监测。

3.0.18 抗震设防区管桩基础的勘察、设计尚应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定。

4　材料与分类

4.1　材料

4.1.1　本标准所用管桩为采用高压蒸汽养护工艺养护的、桩身混凝土强度等级为 C80 的高强或 C105 的超高强预应力混凝土桩。

4.1.2　管桩用原材料要求应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476，及现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 的规定。

4.2　分类

4.2.1　管桩按桩身混凝土强度等级分为高强、超高强预应力混凝土管桩；按壁厚分为薄壁式、标准式、厚壁式管桩；按截面形式分为圆环形、方箱形截面桩。管桩桩型分类如下：

表 4.2.1 管桩桩型分类

品种	混凝土强度等级	代号	型号
预应力混凝土圆环形截面桩	C80	PHC	A、AB 、B 、C
厚壁式预应力混凝土圆环形截面桩	C80	PHCtk	A、AB 、B 、C
厚壁式超高强预应力混凝土圆环形截面桩	C105	PHCts	A、AB 、B 、C
预应力混凝土方箱形截面桩	C80	PHS	A、AB 、B
厚壁式预应力混凝土方箱形截面桩	C80	PHStk	A、AB 、B
厚壁式超高强预应力混凝土方箱形截面桩	C105	PHSts	A、AB 、B
混凝土薄壁空心圆环形截面桩	C80	PHCtn	A、AB
混凝土薄壁空心方箱形截面桩	C80	PHStn	A、AB

4.2.2　PHC 桩按外径可分为 300mm、400mm、500mm、600mm、700mm、800mm、1000mm、1200mm 等。PHCs、及 PHCts 按桩径分为 400mm、500mm、600mm；PHCtn 按桩径可分为 300mm、400mm、500mm 等。

4.2.3　PHS、PHSs 和 PHSts 桩按边长可分为 300mm、350mm、400mm、450mm、500mm、550mm、600mm 等，PHStn 桩按边长可分为 300mm、350mm、400mm 等。

4.2.4 管桩按有效预应力值大小分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型，其对应混凝土有效预压应力值宜分别为 4MPa、6MPa、8MPa 和 10MPa。

4.2.6 每节管桩均应明确标记其品种、规格、型号及长度，标记示例为：品种 PHC、外径 500mm、壁厚 100mm、AB 型、长度 12m 的预应力高强混凝土管桩标记为：PHC 500 AB 100-12。

5　管桩基础的岩土工程勘察

5.1　一般规定

5.1.1　管桩工程岩土工程勘察除应严格执行《工程勘察通用规范》GB55017 的有关规定外，尚应符合国家、行业和地方有关推荐性标准的要求。

5.1.2　详细勘察阶段管桩工程岩土工程勘察，应符合下列规定：

1　勘探孔间距对端承型桩（含嵌岩桩）宜取 12m~24m；对摩擦型桩及复合地基宜取 20~35m，当相邻两个勘察孔揭露出的桩端持力层层面坡度大于 10%或持力层起伏较大、地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探孔。

2　复杂地质条件下的一柱一桩基础应按柱列线布置勘探点，并宜每柱设一勘探点；

3　控制性勘探孔宜为勘探孔总数的 1/2~1/3，控制性勘探孔的深度应满足下卧层验算和地基变形计算深度，抗震设防区，勘探孔深度尚应满足液化判别及场地类别判定要求，一般性勘探孔的深度应达到预计最大桩端平面以下 3D~5D（D 为桩外径），且不少于 3m，大直径桩不少于 5m。在上述规定勘探深度范围内遇基岩或厚层密实碎石土等稳定地层时，勘探孔深度可适当减小；

4　山区管桩工程勘察时，应查明岩层风化程度、基岩面起伏情况、破碎带和软弱夹层的分布情况；岩溶地区尚应查明岩溶发育情况及有无影响管桩稳定的临空面；

5　在勘探深度范围内的每一地层，均应采取试样进行室内试验或选用有效原位测试方法进行原位测试。

6　地表水、地下水及勘探深度内的每一地层均应采取试样进行腐蚀性评价。

5.1.3　管桩基础勘察的原位测试宜优先采用静力触探获取设计参数、当采用采用标准贯入试验或重型动力触探击数获取设计参数时。实测击数应按下式修正：

$$N_{63.5}(N) = \bar{o}N'_{63.5}(N') \qquad (5.1.3)$$

式中：$N_{63.5}$—修正后的动力触探击数；

N —修正后的标准贯入试验击数；

$\bar{o}$ —杆长修正系数。按表 5.1.3 取值；

$N'_{63.5}$ —实测动力触探击数；

N' —实测标准贯入试验击数。

表 5.1.3　杆长修正系数 $\bar{o}$

杆长（m）	≤2	6	9	12	15	18	21	24	30	40	50	80
$\bar{o}$	1	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.62	0.53	0.46	0.38

5.2　勘察报告

5.2.1　管桩工程的岩土工程勘察报告应根据任务要求、工程特点和地质条件等情况编写。

5.2.2　管桩工程详细勘察报告应包括以下内容：

1　拟建工程概况

2　勘察目的、任务要求和依据的技术标准；

3　勘察方法和勘察工作布置；

4　场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性；

5　场地各岩土层的物理力学性质；提供设计所需的岩土参数；

6　地下水类型、稳定水位其变化幅度、需要控制地下水时提供相关水文地质参数；

7　场地地表水、地下水、土对管桩的腐蚀性评价；

8　可能影响工程稳定性的不良地质作用和对工程危害程度的评价；

9　场地的地震效应评价；

10　场地稳定性和适宜性评价；

11　管桩工程评价

12 结论与建议；

13　相关图表。

5.2.3 管桩工程评价应包括下列内容：

1 提供管桩基础、劲性桩基础或复合地基设计及施工所需的岩土参数；

2 建议桩端持力层，对于残积土、风化岩持力层应分析其均匀性、遇水软化特性对管桩承载

性能的影响

3 对存在欠固结土、大面积堆载、回填土、自重湿陷性黄土的场地，分析产生负摩擦的可能性及其影响效果；

4 沉桩可行性分析、挤土效应、振动影响分析，对沉桩可能遇到的风险以及施工对环境影响，提出设计、施工应注意的问题；

5 提出管桩工程检测及施工监测的建议。

6　管桩基础设计

6.1　一般规定

6.1.1　管桩基础设计应具备下列基本资料：

1　符合本规程第 5 章规定的岩土工程勘察报告；

2　建筑场地的总平面图、建筑物地下室或首层建筑结构平面图；

3　建筑场地与环境条件，包括地上及地下管线、地下构筑物的分布，可能受压桩、打桩影响的邻近建筑物和构筑物的地基及基础情况，施工机械进退场及现场运行条件，防振、防噪音要求；

4　建筑物上部结构类型及荷载大小、分布及性质，生产工艺设备对基础沉降及水平位移的要求；

5　抗震设防的有关资料；

6　可选用的管桩规格、接头形式及供应条件；

7　沉桩设备性能及其对地质条件的适应性。

6.1.2　管桩应按下列原则选用：

1　抗震设防烈度为 8 度及以上地区，不应选用 A 型桩，不宜选用 AB 型桩；

2　基础设计等级为甲级的管桩基础和抗拔桩不应选用 A 型桩，不应选用直径 300mm 的管桩；

3　当管桩作为复合地基中的增强体时，可选用 A 型桩，也可选用薄壁型桩；

4　在地下水或地基土对混凝土、钢筋和钢零部件有弱、中、强腐蚀的环境下应用的管桩基础工程，不应选用 A 型桩，同时应按本规程 **3.0.9** 条、**3.0.10** 条规定根据不同的腐蚀性等级采用相应的防腐措施。

6.1.3　管桩的布置应满足下列要求：

1　管桩的最小中心距应符合表 6.1.4-1 的规定；

表 6.1.4-1　管桩的最小中心距

桩基情况	桩的最小中心距
独立承台内桩数超过 30 根，大面积群桩，桩周为饱和粘性土	4.5D

独立承台内桩数超过 30 根，大面积群桩，桩周为非饱和粘性土	4.0D
独立承台内桩数超过 9 根，但不超过 30 根；条形承台内排数超过 3 排	3.5D
其他情况	3.0D

注：1　桩的中心距指两根桩横截面中心点之间的距离；

2　当采用“引孔沉桩”或其他减少挤土效应的措施时，管桩的最小中心距可适当减小，但不得小于 3.0D。

2　单桩或单排桩宜直接布置于柱、墙等竖向构件之下；当采用多桩或群桩时，宜使桩群承载力合力点与其上竖向构件长期荷载作用的合力作用点相重合；

3　同一结构单元宜避免同时采用摩擦桩和端承桩。当受条件限制必须采用时，则应估算其可能产生的差异沉降对上部结构的影响，必要时应有相应的加强措施；

4　选定桩长时，桩的接头数量尚应符合本规程第 6.3.4 条规定，同一承台内 50%以上的接头不宜处在同一平面上；

5　桩端全截面进入持力层深度，对于黏性土、粉土、砂土、全风化、强风化软质岩等，不宜小于 2D，对于碎石土、强风化硬质岩等，不宜小于 1D。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 5D；

6　同一承台的桩数不宜少于 2 根；当不多于 2 根桩时，应加强承台间的拉结。单桩承台应沿两个方向设置拉梁，两桩承台应至少在短轴方向设置拉梁；

7　管桩基础设计等级为丙级的多层建筑、底框架砌体房屋，可采取一柱一桩的布桩方式，但桩长应不小于 6m，桩径不宜小于 500mm，不应采用 A 型桩，桩顶应设桩帽和双向拉梁，拉梁在平面内应形成闭合框格。拉梁下做砂土垫层，拉梁两侧填土夯实，压实系数不小于 0.94，拉梁截面和配筋应做到强梁弱柱，拉梁配筋连续贯通，梁端箍筋加密，梁侧配置不小于ϕ 14@150 的腰筋。

6.1.4　在满足桩最小中心距要求的前提下，单个承台下多桩及群桩基础总的承载力特征值可视为各单桩承载力特征值之和。

6.1.5　管桩基础设计应根据承载能力和变形控制的要求进行下列计算或验算：

1　根据桩基的使用功能和受力特性进行桩基的竖向承载力计算和水平承载力计算；

2　对于承受水平荷载大的管桩进行桩身正截面和斜截面承载力验算；

3　计算承台内力并验算其承载力；

4　对以下建筑物的管桩基础应进行沉降验算：

1）设计等级为甲级的管桩基础；

2）体型复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的管桩基础；

3）摩擦型桩基。

5 当桩端持力层下存在软弱下卧层时验算软弱下卧层的承载力；

6 对管桩基础设计等级为甲级且水平荷载较大或水平位移要求严格时，应作桩基水平变位验算；

7 根据裂缝控制等级，进行桩身抗裂验算；

8 管桩承受拔力时，进行抗拔承载力验算。

6.1.6 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载荷试验确定。且应符合下列规定：

1 设计等级为甲级、乙级的管桩基础，以及地质条件较复杂的管桩基础，应在施工前采用单桩静载荷试验确定，在同一条件下的试桩数量不应少于 3 根，并应符合下列规定：

1）试桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；

2）试桩应选在地质勘探孔附近；

3）试桩施工条件应与工程桩一致。

2 初步设计阶段可结合原位试验参数和工程经验参数综合估算单桩竖向承载力特征值。

6.1.7 对于承受水平荷载大的管桩基础，应通过现场单桩水平静载荷试验确定单桩水平承载力特征值。试验宜采用单向多循环加载法或慢速维持荷载法，按现行行业标准《建筑基桩检测技术规程》 JGJ 106 执行。

6.1.8 管桩应按下列规定进行受拉应力验算：

1 对于裂缝控制等级为一级的管桩，在荷载效应标准组合下混凝土不应产生拉应力，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pe} \le 0 \qquad (6.1.8\text{-}1)$$

2 对于裂缝控制等级为二级的管桩，在荷载效应标准组合下混凝土受拉边缘的应力不应大于混凝土轴心受拉强度标准值，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pe} \le f_{tk} \qquad (6.1.8\text{-}2)$$

式中：σ_{ck}——荷载效应标准组合下桩身混凝土正截面法向拉应力（N/mm²）；

σ_{pe}——管桩桩身截面混凝土有效预压应力（N/mm²）；

f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm²）。

6.2 桩基计算

6.2.1 对于一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物且桩径相同的多桩或群桩基础中，单桩桩顶作用力按下列公式计算：

1 轴心竖向力作用下

$$Q_{\mathrm{k}}=\frac{F_{\mathrm{k}}+G_{\mathrm{k}}}{n} \tag{6.2.1-1}$$

偏心竖向力作用下

$$Q_{\mathrm{ik}}=\frac{F_{\mathrm{k}}+G_{\mathrm{k}}}{n}\pm\frac{M_{\mathrm{xk}}Y_{\mathrm{i}}}{\Sigma Y_{\mathrm{i}}^{2}}\pm\frac{M_{\mathrm{yk}}X_{\mathrm{i}}}{\Sigma X_{\mathrm{i}}^{2}} \tag{6.2.1-2}$$

2 水平力作用下

$$H_{\mathrm{ik}}=\frac{H_{\mathrm{k}}}{n} \tag{6.2.1-3}$$

式中：F_{k}—相应于荷载效应标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力(kN)；

G_{k}—桩基承台及其上覆土自重标准值(kN)；

Q_{k}—相应于荷载效应标准组合时，轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力(kN)；

n—同一承台中的桩数；

Q_{ik}—相应于荷载效应标准组合时，偏心竖向力作用下第 i 根桩的竖向力(kN)；

M_{xk}、M_{yk}—相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面、通过桩群形心 x、y 的弯矩(kN·m)；

X_{i}、Y_{i}—第 i 根桩至桩群形心的 y、x 轴线的距离(m)；

H_{k}—相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面的水平力(kN)；

H_{ik}—相应于荷载效应标准组合时，作用于任一根桩桩顶的水平力(kN)。

6.2.2 单桩竖向承载力计算应符合下列表达式：

1 不考虑地震作用效应组合的标准值：

轴心竖向力作用下

$$Q_{\mathrm{k}}\leq R_{\mathrm{a}} \tag{6.2.2-1}$$

偏心竖向力作用下，除满足式（6.2.2-1）外，尚应满足：

$$Q_{ikmax} \le 1.2R_a \qquad (6.2.2\text{-}2)$$

2 考虑地震作用效应组合的标准值：

轴心竖向力作用下

$$Q_k \le 1.25R_a \qquad (6.2.2\text{-}3)$$

偏心竖向力作用下，除满足式（6.2.2-3）外，尚应满足：

$$Q_{ikmax} \le 1.5R_a \qquad (6.2.2\text{-}4)$$

式中：R_a—单桩竖向承载力特征值(kN)；

Q_{ikmax}——相应于荷载效应标准组合时偏心竖向力作用下单桩最大竖向力(kN)。

6.2.3 承受竖向拔力的管桩基础，应按下式验算单桩的抗拔承载力

$$Q_{tk} \le R_{ta} \qquad (6.2.3)$$

式中：Q_{tk}—相应于荷载效应标准组合时，作用于单桩桩顶的竖向拔力(kN)；

R_{ta}—单桩竖向抗拔承载力特征值(kN)。

6.2.4 以单桩竖向抗压静载荷试验确定单桩竖向承载力时，单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按下式计算：

$$R_a = \frac{Q_{uk}}{K} \qquad (6.2.4)$$

式中：Q_{uk}—单桩竖向极限承载力标准值(kN)；

K —安全系数，取 K = 2。

6.2.5 当根据静力触探原位试验结果确定管桩单桩竖向承载力 R_a 时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的方法进行估算。

6.2.6 当根据地基土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 时，可按下式估算：

$$R_\alpha = u_p \sum q_{sia} \cdot l_i + \acute{g}_p \cdot q_{pa} \cdot A_p \qquad (6.2.6)$$

式中 u_p—桩身周长(m)；

q_{sia}—管桩第 i 层土（岩）的侧摩阻力特征值(kPa)，可按表 6.2.6-1 取值；

l_i—管桩穿越第 i 层土（岩）的厚度(m)，当桩端持力层为 $N_{63.5} \ge 45$ 的软岩层且其进入深度大于 4D 时按 4D 取值计算；

q_{pa}—管桩的桩端阻力特征值(kPa)，可按表 6.2.6-2 取值；

$\acute{g}_p$—管桩第 i 层土（岩）的端阻力修正系数，可分别按表 6.2.6-3 的经验值取用；

A_p—桩端面积(m²)，当为开口型桩尖时仍按封口型桩尖的水平投影面积计算。

表 6.2.6-1　管桩侧摩阻力特征值 q_{sia}

桩侧土	岩　土　状　态								
	侧 摩 阻 力 特 征 值　q_{sia}（kPa）								
填　　土	$N_{63.5}$	1	2	3	4	5	6	7	8
	q_{sia} 值	10	11	12	13	14	15	16	17
淤泥质土	天然含水量 w(%)	85	75	65	55	45	35		
	q_{sia} 值	9	10	11	12	13	14		
黏 性 土	液性指数 I_L	≥1.0	0.75	0.50	0.25	0	-0.25		
	q_{sia} 值	16	24	30	36	42	48		
粉　　土	天然孔隙比 e	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	
	q_{sia} 值	14	18	21	25	28	35	38	
	$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	≥40
粉、 细 砂	q_{sia} 值	23	32	39	45	51	58	63	70
中、 粗 砂		26	36	43	54	64	76	87	100
砾　　砂		39	57	68	80	92	102	112	125
碎石类土		44	63	77	90	102	115	127	140
极 软 岩		25	34	40	46	52	58	63	70
软　　岩		40	55	66	77	87	97	105	115

注：1　对于尚未完成自重固结的土类，不计算其侧摩阻力；

2　$N_{63.5}$ 为修正后的重型动力触探锤击数；

3　对于粉砂、细砂土层，标贯击数 N 与重型动探击数 $N_{63.5}$ 的关系：可按经验公式 $N_{63.5} = 5.86\ln N - 8.42$ 换算。

表 6.2.6-2　管桩桩端阻力特征值 q_{pa}

桩 端 土	岩　土　状　态										
	端 阻 力 特 征 值　q_{pa}（kPa）										
黏 性 土	液性指数 I_L	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	≤0		

	q_{pa} 值	600	900	1200	1400	1660	1890	2100	2300		
粉　　土	天然孔隙比 e	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3		
	q_{pa} 值	460	690	930	1160	1400	1630	1870	2100		
	$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
粉、细砂	q_{pa} 值	2480	2680	2820	2970	3100	3230	3330	3430	3680	3820
中、粗砂		3450	4100	4560	5010	5390	5620	5800	5970	6490	6750
砾　　砂		4260	4800	5220	5610	5970	6330	6600	6860	7630	8000
碎石类土		4650	5250	5740	6240	6670	7030	7270	7470	8130	8500
极软岩		1300	2300	2890	3350	3730	4110	4440	4770	5560	6000
软　　岩		1900	3000	3760	4320	4710	4930	5110	5300	5760	6000

注：1　$N_{63.5}$ 为修正后的重型动力触探锤击数；

2　对于粉砂、细砂土层，标贯击数 N 与重型动探击数 $N_{63.5}$ 的关系：可按经验公式 $N_{63.5} = 5.86\ln N - 8.42$ 换算。

表 6.2.6-3　管桩桩端阻力特征值 q_{pa} 土层埋深修正系数 $\acute{g}_p$

桩端土	岩土状态	桩端入土深度 L（m）	
		≤10	≥20
黏性土	I_L=0.7~≤0	1.00	1.60
粉　　土	e=1.0~0.3	1.00	1.60
粉、细砂	$N_{63.5}$=5~60	1.00	1.56
中、粗、砾砂	$N_{63.5}$=5~60	1.00	1.33
碎石类土	$N_{63.5}$=5~60	1.00	1.13
极软岩	$N_{63.5}$=5~60	1.00	1.04
软　　岩	$N_{63.5}$=5~60	1.00	1.07

注：　系数 $\acute{g}_p$ 可根据深度 L 值内插使用。

6.2.7　对于轴向受压的预应力管桩，当不考虑管桩压屈影响时，桩身混凝土强度验算应符合下列规定：

$$Q \le \psi_c f_c A \qquad (6.2.7)$$

式中：Q—相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向压力设计值(kN)；

ψ_c—成桩工艺系数，当采用抱压式或锤击式施工时，ψ_c 取 0.70；当采用植入工法施工时，

ψ_c 取 0.85；

f_c —管桩混凝土轴心抗压强度设计值，C80 混凝土，取 f_c ＝35.9MPa；C105 混凝土，取 f_c ＝45.3MPa；

A—管桩桩身横截面面积(mm²)。

6.2.8 单桩竖向抗拔承载力特征值应按下列规定确定：

1 单桩竖向抗拔承载力特征值应通过现场竖向抗拔静载试验确定，试验应符合本规程第 **10.5.7** 条要求。

2 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向抗拔承载力特征值时，可按下式计算：

$$R_{ta}=u_p\sum \lambda_i \cdot q_{sia} \cdot l_i+G_p \qquad (6.2.8\text{-}1)$$

式中：u_P—桩身外周长；

λ_i—抗拔摩阻力折减系数，按表 6.2.8 取值；

q_{sia}—管桩第 i 层土（岩）的侧摩阻力特征值，可按 表 6.2.4-5 取值；

l_i—管桩穿越第 i 层土（岩）的厚度；

G_p—管桩自重，地下水位以下部分应扣除水的浮力。

表 6.2.8 抗拔摩阻力折减系数 λ_i

土（岩）的类别	λ_i
强风化岩、花岗岩残积土	0.50～0.70
砂　　土	0.50～0.70
黏性土、粉土	0.70～0.80

注：桩长与桩径比小于 20 时，取表中较小值。

3 单桩竖向抗拔承载力特征值，尚应满足下式要求：

$$R_{ta} \le \sigma_{ce} A_0 \qquad (6.2.8\text{-}2)$$

式中：σ_{ce}—管桩桩身混凝土的有效预压应力(kPa)；

A_0—管桩截面换算面积(m²)，$A_0=(\alpha_E-1)A_a+A$；

α_E—钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

A_a—全部纵向预应力钢筋的截面面积(mm²)。

6.2.9 承受竖向上拔力作用的管桩应进行预应力钢棒抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶填芯混凝土与承台连接处强度验算，并应按不利处的抗拉强度确定管桩的抗拔承载力。

1 根据预应力钢棒抗拉强度验算单桩抗拔承载力时，应按下式进行验算：

$$Q_t \le C f_{py} A_a \qquad (6.2.9\text{-}1)$$

式中：Q_t—相应于荷载效应基本组合时的管桩轴心拉力设计值(N)，可近似按 $1.35R_{ta}$ 计算；

C—考虑预应力钢筋墩头与端板连接处受力不均匀等因素的影响而取的折减系数，C=0.85；

f_{py}—预应力钢筋抗拉强度设计值，取 f_{py} =1000MPa；

A_a—全部纵向预应力钢筋的截面面积(mm²)。

2 根据管桩端板锚固孔抗剪强度验算单桩抗拔承载力时（图 6.2.9），应按下式进行验算：

$$Q_t \le n' \pi (d_3 + d_4)(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2}) f_v / 2 \qquad (6.2.9\text{-}2)$$

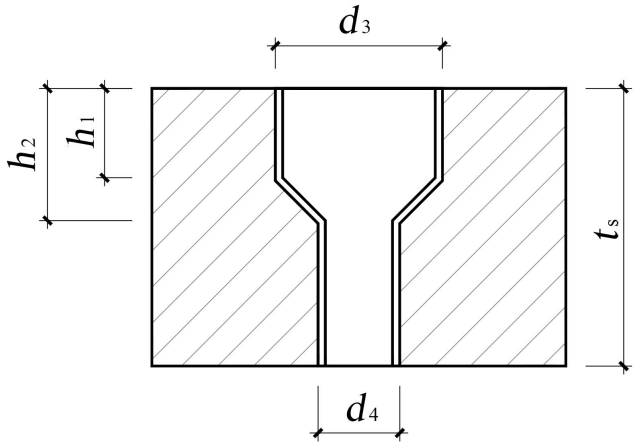


图 6.2.9 端板锚固孔示意图

式中：n’—预应力钢棒数量（根）；

d_3—端板上预应力钢棒锚固孔台阶上口直径（mm）；

d_4—端板上预应力钢棒锚固孔台阶下口直径（mm）；

h_1—端板上预应力钢棒锚固孔台阶上口距端板顶距离（mm）；

h_2—端板上预应力钢棒锚固孔台阶下口距端板顶距离（mm）；

f_v—端板抗剪强度设计值，对 Q235B 钢材，取 f_v =120MPa；

t_s—端板厚度(mm)。

3 根据管桩接桩连接处强度验算单桩抗拔承载力时，机械连接应按现行国家及地方有关标准

的规定进行计算，焊接连接应按下式进行验算：

$$Q_t \le l_w t_w f_t^w \qquad (6.2.9\text{-}3)$$

式中：l_w—围合焊缝总长度（mm）；

t_w—焊缝有效厚度（mm）；

f_t^w—焊缝抗拉强度设计值，对 Q235B 钢材，取 f_t^w＝160MPa。

4 根据管腔内填芯微膨胀混凝土深度及填芯混凝土纵向钢筋验算单桩抗拔承载力时，应按下列公式进行验算：

$$Q_t \le k_1 \pi d_1 L_a f_n \qquad (6.2.9\text{-}4)$$

$$Q_t \le A_{sd} f_y \qquad (6.2.9\text{-}5)$$

式中：k_1—经验折减系数，取 0.8；

d_1—管桩内径（mm）；

L_a—填芯混凝土高度（mm）；

f_n —填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值，宜由现场试验确定，当缺乏试验资料时，C30 微膨胀混凝土可取 0.35MPa；

A_{sd}—填芯混凝土纵向钢筋总截面面积(mm^2)；

f_y —填芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度设计值(MPa)。

6.2.10 承受水平力的管桩基础，其单桩的水平承载力应符合下列规定：

$$H_{ik} \le R_{ha} \qquad (6.2.10\text{-}1)$$

当验算与地震作用效应组合的管桩基础水平承载力时，应满足下列要求：

$$H_{ik} \le 1.25 R_{ha} \qquad (6.2.10\text{-}2)$$

式中：H_{ik}—相应于荷载效应标准组合时，作用于任一根桩桩顶的水平力(kN)；

R_{ha}—单桩的水平承载力特征值(kN)，按本规程第 6.1.7 条或第 6.2.11 条确定。

6.2.11 当桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平载荷试验资料时，除 A 型管桩外，可按变形控制采用下列公式估算管桩基础单桩水平承载力特征值，也可按本规程附录 C 估算单桩水平承载力特征值。

$$R_{ha} = 0.75 \frac{\alpha^3 EI}{V_X} \bullet \chi_{oa} \qquad (6.2.11)$$

式中：EI—管桩桩身抗弯刚度(kN·m²)，EI=0.85E_cI_0；其中，E_c为混凝土弹性模量；I_0为桩身换算截面惯性矩，对于圆环形截面桩：$I_0=\frac{€}{64}(D^4-D_1^4)+(\bar{o}_E-1)A_aD_p^2/8$；对于方箱形截面桩：$I_0=\frac{D^4}{12}-\frac{€}{64}D_1^4+(\alpha_E-1)A_aD_p^2/8$。$D$为圆环形截面管桩外径或方箱形截面管桩的外边长，$D_1$为管桩内径，$D_p$为圆环形截面管桩纵向预应力钢筋分布圆的直径或方箱形截面管桩对边纵向预应力钢筋的距离，A_a为全部纵向预应力钢筋的截面面积，α_E为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

χ_{oa}—管桩桩顶允许水平位移(m)；

V_x—管桩桩顶水平位移系数，按表 6.2.11-1 取值；

α—管桩的水平变形系数(1/m)，$\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$；其中，m 为桩侧土的水平抗力系数的比例系数(MN/m⁴)，可按表 6.2.11-2 选用；b_0为管桩桩身计算宽度(m)，b_0=0.9(1.5D+0.5)。

表 6.2.11-1　管桩桩顶水平位移系数 V_x

桩顶约束情况	桩的换算深度（αh）	V_x
铰　　接	4.0	2.441
	3.5	2.502
	3.0	2.727
	2.8	2.905
	2.6	3.163
	2.4	3.526
刚　　接	4.0	0.940
	3.5	0.970
	3.0	1.028
	2.8	1.055
	2.6	1.079
	2.4	1.095

注：1　当$\alpha h>4.0$时，取$\alpha h=4.0$；

2　3 桩及 3 桩以上承台且满足附录 A 节点要求可视为刚接；

3　2 桩及单桩承台有双向拉梁约束且满足附录 A 节点要求可视为刚接；

4　不满足 2 或 3 要求时可视为铰接。

表 6.2.11-2　桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 值

序号	地　基　土　类　别	管　　桩	
		m（MN/m^4）	相应桩顶面处水平位移（mm）
1	淤泥，淤泥质土、饱和湿陷性黄土	2.0～4.5	10
2	流塑（I_L>1）、软塑（0.75< I_L≤1）黏性土，松散粉土，松散粉细砂，松散或稍密填土	4.5~6.0	10
3	可塑（0.25< I_L≤0.75）黏性土，稍密粉土，中密填土，稍密细砂	12~20	10
4	硬塑（0< I_L<0.25）、坚硬（I_L≤0）黏性土，中密或密实粉土，中密中粗砂，密实老填土	20~50	10

注：　1　当桩顶位移大于 10mm，m 值宜适当降低；反之，可适当提高；

2　当水平荷载为长期荷载时，应将表列数值乘以 0.4 后采用；

3　当桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 h_m＝2(D+1)米范围内的 m 值作为计算值。

6.2.12　圆环形截面管桩桩身斜截面受剪承载力设计值应按下列规定确定：

1　管桩斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v = \frac{0.7tI}{S_0}\sqrt{(\mu_{ce} + 2f_t)^2 - \mu_{ce}^2} + \frac{€}{2} \bullet f_{yv} \bullet A_{sv1} \sin\bar{o} \bullet \frac{D}{s} \qquad (6\text{-}2\text{-}15\text{-}1)$$

2　管桩截桩部位斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v = \frac{0.7tI}{S_0}\sqrt{(\mu_{ce} + 2f_t)^2 - (\mu_{ce})^2} + \frac{€}{2} \bullet f_{yv} \bullet A_{sv1} \sin\bar{o} \bullet \frac{D}{s} \qquad (6\text{-}2\text{-}15\text{-}2)$$

3　符合本规程 6.3 节管桩填芯混凝土构造的管桩填芯部位斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v = \frac{0.7tI}{S_0}\sqrt{(\mu_{ce} + 2f_t)^2 - (\mu_{ce})^2} + \frac{€}{2} \bullet f_{yv} \bullet A_{sv1} \sin\bar{o} \bullet \frac{D}{s} + 0.3 f_{t1} D_1^2 \qquad (6\text{-}2\text{-}15\text{-}3)$$

式中：σ_{ce}—混凝土有效预压应力(MPa)；

μ—混凝土有效预压应力折减系数，$\mu=\dfrac{c}{l_{tr}}$；其中，l_{tr}为截桩后预应力筋的预应力传递长度，$l_{tr}=0.14\dfrac{\sigma_{pe}}{f_{tk}}d$，$\sigma_{pe}$为放张时预应力筋的有效预应力，$d$预应力筋的公称直径，$f_{tk}$管桩混凝土的抗拉强度标准值；$c$为计算截面至桩端的距离，实际工程中，$c$取桩埋入承台深度；

f_t—管桩混凝土的抗拉强度设计值(MPa)；

f_{t1}—填芯混凝土的抗拉强度设计值(MPa)；

f_{yv}—箍筋抗拉强度设计值(MPa)；

t—管桩壁厚(mm)；

I—管桩截面相对中心轴的惯性矩(mm^4)，$I=\dfrac{\pi}{64}(D^4-D_1^4)$；

S_0—中心轴以上截面对中心轴的面积矩(mm^3)，$S_0=\dfrac{1}{12}(D^3-D_1^3)$；

D、D_1—分别为管桩的外径和内径(mm)；

A_{sv1}—单支箍筋的截面面积(mm^2)；

$\sin\alpha$—螺旋斜向箍筋与与纵轴夹角的正弦值；

s—箍筋间距(mm)。

6.2.13 方箱形截面管桩桩身斜截面受剪承载力设计值可按下列公式计算：

$$R_v=V_{cs}+V_p \tag{6-2-13}$$

$$V_{cs}=0.5f_tbh_0+f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0$$

$$V_p=0.05N_{p0}$$

式中：V_{cs}—构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值(N)；

V_p—由预加力所提高的构件受剪承载力设计值(N)；

A_{sv}—配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积(mm^2)；

b —方箱形截面的壁厚（2 倍肋宽）(mm)；

s —箍筋间距(mm)；

f_{yv}—箍筋抗拉强度设计值(MPa)；

N_{p0} —计算截面上混凝土法向预应力等于零时的预加力(N)；当 N_{p0} 大于 $0.3f_cA_0$ 时，取为 $0.3f_cA_0$，A_0 为构件的换算截面面积。

6.2.14 受弯、偏心受压、偏心受拉的管桩，桩身正截面受弯、受压、受拉承载力，应按《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定进行计算。

6.2.15 管桩承受弯矩作用时，裂缝控制等级为二级时，应符合下列规定：

$$M_k \le (\sigma_{ce} + \bar{u} f_{tk}) W_0 \qquad (6.2.15)$$

式中：M_k—按荷载效应标准组合计算的弯矩值(kN·m)；

$\bar{u}$—考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数，对于圆环形截面桩，取 $\bar{u}$=1.9；对于箱形截面桩，取 $\bar{u}$＝1.35。

W_0—管桩截面换算抵抗矩(mm³)，$W_0=2I_0/D$；

6.2.16 当管桩桩周土体因自重固结、地下水位降低或受地面大面积堆载等因素影响而产生超过管桩的沉降时，应考虑由此引起的桩侧负摩阻力对桩抗压承载力及沉降的影响。当缺乏经验及实测资料，没有相似条件下的工程类比经验作参考时，桩侧负摩阻力可参照《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定执行。

6.2.17 管桩基础的沉降计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定。当桩的中心距不大于 6 倍桩径时，也可将桩基础承台、桩群与桩间土视为实体深基础，按现行国家标准《建筑地基基础规范》GB50007 的方法计算。

6.2.18 根据管桩基础的特点和工程经验，也可利用单桩静载试验资料来估算管桩基础的沉降量。当管桩桩端持力层为 $N_{63.5}$≥35 的软岩或 $N_{63.5}$≥20 的中粗砂、砾砂、碎石类土层时，最终沉降量可按单桩静载试验时单桩承载力特征值对应的试桩桩顶沉降量的 2.0~3.0 倍取值；其余非摩擦型的管桩基础沉降量，可按单桩静载荷试验时单桩承载力特征值对应的试桩桩顶沉降量的 3.0~4.0 倍取值。

6.3 构造要求

6.3.1 受压管桩与承台连接时，应采用桩顶填芯混凝土中埋设连接钢筋的连接方式，构造做法详见附录 A 图 A.0.2，并应符合下列规定：

1 桩顶嵌入承台内的长度不应小于 50mm 且不宜大于 100mm；

2 填芯混凝土应采用补偿收缩混凝土，其强度等级不应低于 C30。填芯混凝土深度不应小于 3D 且不应小于 1.5m；

3 连接钢筋数量不宜少于 4 根，锚入承台内的长度不宜小于 35 倍钢筋直径。

6.3.2 抗拔管桩与承台连接的构造做法详见附录 A 图 A.0.3，除应满足 6.3.1 条第 1、2 款的规定外，尚应符合下列规定：

1 当抗拔桩桩顶位于预定的设计标高不需截桩时，桩头的锚固构造宜符合附录 A 图 A.0.3-1 的要求。在桩顶接头端板上焊接钢板与锚筋，锚筋与钢板以及钢板与端板的焊接应按等强度设计。锚筋的直径不宜小于 16mm，且不应少于 4 根，其总截面面积 A_m 应满足下式要求：

$$A_m \geq \frac{f_{py} A_a}{f_y} \qquad (6.3.2\text{-}1)$$

式中：f_y—锚筋的抗拉强度设计值(MPa)。

2 当抗拔桩桩顶高于预定的设计标高需要截桩时，桩头的锚固构造应符合附录 A 图 A.0.3-2 的要求，填芯混凝土应采用微膨胀混凝土，其强度等级不应低于 C30。桩顶填芯混凝土深度和连接钢筋总截面面积应满足 6.2.9 条的规定。

3 当桩顶承担较大水平力时，填芯混凝土深度应按计算确定，且不小于 6 倍桩径及 3m 的较大值。

6.3.3 填芯补偿收缩混凝土的限制膨胀率宜为 0.02%，填芯微膨胀混凝土的限制膨胀率宜为 0.03%，限制干缩率均不应大于 0.015%。混凝土的限制膨胀率和限制干缩率的测定应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的有关规定执行。

6.3.4 管桩的接长应符合下列规定：

1 每根桩的接头数量不宜超过 3 个；

2 接头的抗弯性能不得低于桩身极限弯矩值；

3 不宜利用截桩余下部分作接长之用；

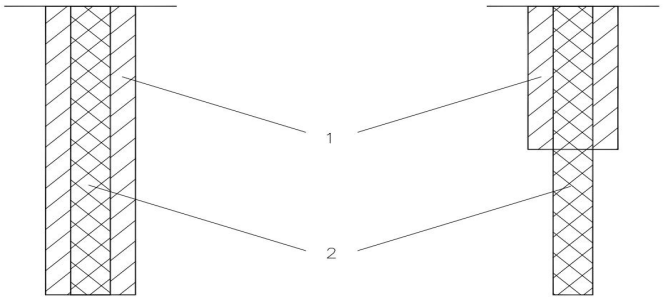
4 管桩的连接可选用焊接接头、机械啮合接头。焊接接头连接应符合本规程第 7.1.9 条规定。

6.3.5 抗拔桩和支护桩接头采用焊接接头时，焊缝坡口尺寸宜将图集 10G409 中规定的端板坡口尺寸（w x l_a）各加大 1mm~2mm。

7　复合桩设计

7.1　水泥土劲性复合桩

7.1.1　本节规定的管桩劲性复合桩是由水泥土搅拌桩与圆环形截面预应力高强混凝土管桩（PHC）相复合的一种桩型，适用于长芯桩及等芯桩，管桩劲性复合桩的构造如图 7.1.1 所示。水泥土桩径宜为 600mm~1200mm，管桩桩径宜为 300mm~800mm；管桩劲性复合桩的抗拉和抗水平力设计，应符合现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 的规定。



（a）等芯复合桩　　（b）长芯复合桩

图 7.1.1　管桩劲性复合桩构造示意图

1—水泥土搅拌桩；　2—预应力混凝土管桩

7.1.2　内芯为复合桩桩体中心的预制桩部分。外芯为复合桩中预制管桩内芯以外的水泥土部分。

7.1.3　劲性复合管桩的设计应符合下列规定：

1 劲性复合管桩外芯厚度宜为 150mm～250mm；

2 采用高压旋喷、深层搅拌成桩时，外芯填充料可采用水泥土，水泥土中的水泥掺量不宜小于 15%，淤泥质土中水泥土强度不应小于 1.5MPa；粘性土中水泥土强度不应小于 2.5MPa；砂土水泥土强度不应小于 5.0MPa。

7.1.4　劲性复合管桩作为桩基础基桩时应符合下列规定：

1 桩身承载力及裂缝控制宜按内芯桩进行验算；

2 桩的中心距不宜小于内芯预制桩的 4d；

3 内芯桩与承台通过管内插筋连接，预制桩嵌入承台内宜为 50mm~100mm，连接构造做法

详见附录 A。

7.1.5 设计前应选择有代表性场地进行成桩工艺性试验，类似条件下试验数量不宜少于 3 组。

7.1.6 劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定；

2 初步设计时，单桩竖向抗压承载力特征值可按下列公式（7.1.6-1）~公式（7.1.7-1）估算，并取其中的较小值：

1） 当桩侧破坏面位于内、外芯界面时：

长芯桩：
$$R_a = u^c q_{sa}^c l^c + u^c \sum q_{sja}^c l_j + q_{pa}^c A_p^c \tag{7.1.6-1}$$

等芯桩：
$$R_a = u^c q_{sa}^c l^c + q_{pa}^c A_p^c \tag{7.1.6-2}$$

2） 当桩侧破坏面位于外芯和桩周土的界面时：

长芯桩：
$$R_a = u \sum q_{sia} l_i + u^c \sum q_{sja}^c l_j + q_{pa}^c A_p^c \tag{7.1.6-3}$$

等芯桩：
$$R_a = u \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_p \tag{7.1.6-4}$$

式中：R_a—单桩竖向抗压承载力特征值(kN)；

u^c—管桩桩身周长(m)；

l^c、l_j—复合桩复合段长度和非复合段第 j 土层厚度(m)；

A_p^c—管桩桩身截面积(m^2)；

q_{sa}^c—复合桩复合段管桩侧阻力特征值(kPa)，宜按地区经验取值。无地区经验时，宜取室内相同配比水泥土试块在标准条件下 **90d** 龄期的立方体（边长 70.7mm）无侧限抗压强度的（0.04~0.08）倍；

q_{sja}^c—复合桩非复合段管桩第 j 土层侧阻力特征值(kPa)；

q_{pa}^c—复合桩管桩桩端阻力特征值(kPa)；

u—复合桩复合段桩身周长（m）；

l_i—复合桩复合段第 i 土层厚度(m)；

A_p—复合桩桩身截面积(m^2)，

q_{sia} —复合桩复合段外芯第 i 土层侧阻力特征值(kPa)，宜按地区经验取值。无当地经验时 ，可取现行辽宁省地方标准《建筑地基基础技术标准》 DB21/T 907 规定的泥浆护壁钻孔桩侧阻力特征值；

q_{pa} —复合桩端阻力特征值(kPa)，宜按地区经验取值。无当地经验时，可取现行辽宁省地方标准《建筑地基基础技术标准》 DB21/T 907 规定的泥浆护壁钻孔桩端阻力特征值。

7.2 机械成孔劲性复合桩

7.2.1 机械成孔劲性复合桩是预先采用长螺旋钻机或旋挖钻机成孔，孔内灌注强度等级不小于 C20 混凝土，并将圆环形截面预应力高强混凝土管桩（PHC）锤击或静压沉入其中形成的桩。

7.2.2 内芯为复合桩桩体中心的预制桩部分。外芯为复合桩中预制桩内芯以外的混凝土部分。

7.2.3 机械成孔植桩的设计应符合下列规定：

1 宜采用端承桩、摩擦端承桩，不宜采用摩擦桩；

2 桩的中心距不宜小于内芯预制桩的 3d；

3 桩身承载力及裂缝控制应按管桩进行验算；

4 内芯桩与承台通过管内插筋连接，预制桩嵌入承台内宜为 50mm~100mm，连接构造做法详见附录 A。

7.2.4 机械成孔植桩单桩竖向抗压承载力设计计算应符合下列规定：

1 单桩竖向抗压承载力特征值应根据单桩竖向抗压静载试验确定；

2 初步设计时，单桩竖向极限承载力标准值可按下列公式估算：

$$R\mathrm{a}= u\sum q_{\mathrm{sia}}\, l_{\mathrm{i}}+ q_{\mathrm{pa}}\, A_{\mathrm{p}} \qquad (7.2.4\text{-}1)$$

式中： Ra ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

u ——外芯桩身周长（m）；

l_{i} ——第 i 层土厚度（m）；

q_{sia} ——第 i 土层侧阻力特征值（kPa）；宜按现场试验或地区经验取值，无试验资料和地区经验时，宜按成孔工艺对应侧阻取值；

q_{pa} ——桩端阻力特征值（kPa）；宜按现场试验或地区经验取值，无试验资料和地

区经验时，宜按管桩端阻取值；

A_p ——内芯管桩截面面积（m^2）。

8 管桩复合地基

8.1 一般规定

8.1.1 当采用管桩作为复合地基竖向增强体时，管桩宜采用圆环形截面桩，管桩的直径宜为300mm~500mm，管桩壁厚应满足耐久性要求。应根据地质条件、工程特点与地基处理要求，结合工程当地技术水平与地方经验，可单独使用形成刚性桩复合地基，也可与碎石桩、水泥土桩、灰土挤密桩和土挤密桩、现场灌注的混凝土桩等组合使用，形成多桩型复合地基，也可根据单桩承载力设计要求、施工方法等因素选用水泥土复合管桩等劲性管桩作为复合地基竖向增强体。

8.1.2 管桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土、素填土等土层。对湿陷性黄土、可液化土、淤泥、淤泥质土地基应按地区经验或现场试验确定其适用性。

8.1.3 管桩复合地基的设计应符合下列规定：

1 当采用管桩与其他增强体组合形成多桩型复合地基时，应将管桩设计为复合地基主要增强体；

2 当浅层存在软土、欠固结土、湿陷性黄土、可液化土时，宜先采用预压、压实，夯实、挤密等方法处理浅层地基，再采用管桩复合地基处理；

8.1.4 管桩复合地基可只在基础范围内布置增强体，对需要进行抗震设计的地基采用多桩型复合地基时，增强体布置范围应能满足地基抗液化处理的要求。

8.1.5 管桩复合地基应进行包括软弱下卧层承载力在内的承载力、变形和稳定性验算。

8.2 设　　计

8.2.1 管桩复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采用增强体静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，可按下列公式估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-\lambda m) f_{sk}$$

R_a—— 管桩的单桩承载力特征值(kN);

A_p —— 管桩全截面面积；

f_{spk}——复合地基承载力特征值（kPa）；

f_{sk}——处理后桩间土承载力特征值（kPa），无试验资料时可取天然地基承载力特征值；

m—— 面积置换率，按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 取值；

λ——单桩承载力发挥系数，可取 0.8-1.0；

β——桩间土承载力发挥系数，可取 0.9-1.0。

8.2.2 多桩型复合地基应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 进行设计。

8.2.3 管桩复合地基应在基础和增强体之间设置褥垫层，并应符合下列规定：

褥垫层厚度宜控制在 150mm~300mm 之间；

1 垫层材料可用中粗砂、最大粒径不宜大于 25mm 级配砂石；

2 砂石褥垫层夯填度不应大于 0.90。

3 褥垫层施工前，桩顶应采取填芯封堵，填芯封堵高度不宜小于管桩直径 2 倍，填芯混凝土强度等级不宜小于 C25 补偿收缩混凝土。

9　管桩基础施工

9.1　一般规定

9.1.1　管桩基础施工前应完成下列准备工作：

1　施工图纸会审并形成图纸会审纪要；

2　调查场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建筑物及障碍物等可能受沉桩施工影响的情况，并提出相应的技术安全措施；

3　处理或清除场地内影响沉桩的高空及地下障碍物；

4　场地地面平整后，表层土承载能力应满足桩机稳定性要求，使用静压桩机时表层土承载力特征值不宜小于 100kPa，当桩机重量大于 4000kN 时，不宜小于 120kPa；

5　在填方边坡上沉桩时，填土除满足承载力要求外，还应保证填方坡顶距桩位不宜小于 10m，且填方坡率不小于 1:1，必要时应加宽填土宽度；

6　在不受施工影响的位置设置坐标、高程控制点及轴线定位点，且标记明显并作好保护；测定并标出场地上的桩位；

7 绘制整个工程的桩位编号图，并根据施工组织设计或施工方案确定合理可行的施工流水线路；

8 应检查管桩的生产日期和蒸养方式，经高压釜蒸养的管桩出釜冷却至常温后方可使用；

9　选择合适的桩机型号及数量，桩机安装到位，试运转正常；

10 供电、供水、道路、排水、照明、临设房屋等设施能满足安全文明施工要求；

11 施工现场必要的工作人员到位、配套工种齐备；对施工人员进行技术、安全交底。

9.1.2　管桩基础施工前应具备下列文件和资料：

1　岩土工程勘察报告；

2　管桩基础的施工图、设计交底及图纸会审纪要；

3　管桩基础工程施工组织设计；

4　国家定点生产厂生产的桩机设备的技术性能及有效的压力标定资料；

5　管桩的出厂合格证及产品说明。

9.1.3　当桩基施工可能影响邻近建筑物、地下管线的正常使用和安全时，应合理安排沉桩施工顺序，并采用引孔、隔离等减少震动和挤土影响的措施。在毗邻边坡施工时，应随时观测施工对边坡的影响；在临湖、塘的施工场区，要防止地下水位的升降及施工时挤土效应影响而产生桩位偏移和倾斜。

9.1.4 沉桩顺序应综合考虑下列原则后确定：

1 根据桩的密集程度及桩基础与周边建（构）筑物的关系：

1） 若桩较密集且距周边建（构）筑物较远、施工场地较开阔时，宜从中间开始向四周进行；

2） 若桩较密集、场地狭长、两端距建（构）筑物较远时，宜从中间开始向两端进行；

3） 若桩较密集且一侧靠近建（构）筑物时，宜从毗邻建（构）筑物的一侧开始由近及远地进行。

2 根据各区域桩的入土深度：若各区域间差别较大时，宜先长后短；

3 根据工地上所用管桩的规格：若直径不同时，宜先大后小；

4 根据高层建筑塔楼（高层）与裙房（低层）的关系：若裙房面积较大时，宜先高后低；

5 根据整个工地布桩的疏密程度：若相差较大时，宜先密后疏；当场地内存在 30 根桩以上的大承台时，宜先施压大承台桩后施压小承台桩。

9.1.5 送桩应符合下列规定：

1 当桩顶被压（打）至接近地面需要送桩时，应测出桩的垂直度并检查桩头质量，合格后应立即送桩；

2 当场地上多数桩较短（L≤16m）或桩端持力层为易软化的风化岩时，送桩深度不宜超过 1.0m；当地表以下有较厚的淤泥土层时，送桩深度不宜大于 2.0m。当桩需要作复打准备时，送桩深度不宜大于 1.0m；

3 除上款规定外，送桩深度根据需要可超过 2m，但不宜大于 6m；

9.1.6 为减少沉桩引起的挤土影响，宜采用下列一种或几种技术措施：

1 合理安排沉桩顺序；

2 采用引孔沉桩法；

3 设置袋装砂井或塑料排水板；

4 开挖地面防挤沟；

5 控制沉桩速度，限制每天沉桩数量等。

9.1.7 引孔沉桩法应符合下列规定：

1 引孔的直径不宜超过桩径的 2/3、孔深不宜超过桩长的 2/3，应由设计、施工、监理、业主单位共同协商确定；

2 引孔宜用螺旋钻干作业法；

3 引孔作业和沉桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 0.5d；

9.1.8 管桩的接长可采用桩顶端板圆周坡口槽焊接连接法。焊接宜采用手工电弧焊；当天气晴朗

无风或采取一定的技术措施后，也可采用二氧化碳气体保护电弧焊。焊接接桩采用的焊机、焊条、电流、工艺、质量等要求除应符合行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定外，其现场施工尚应按下列规定进行：

1 下节桩的桩头宜高出地面 0.5～1.0m。

2 上下节桩接头端板表面应用钢丝刷清刷干净并保持干燥，坡口处应刷至露出金属光泽。

3 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施。接桩时上下节桩身应对中，错位不宜大于 2mm。若下节桩身略有倾斜，上节桩身应与下节桩身保持顺直，两端面应紧密贴合。不得单纯为使上节桩身垂直而使接头处出现间隙，严禁在接头间隙中填塞焊条头、铁片、铁丝等杂物。

4 当采用手工电弧焊时，施焊宜由两个持证上岗的焊工对称进行。焊条宜采用 E4303 或 E4316，其质量应满足国标《碳钢焊条》GB/T5117 的规定，焊接应逐层进行，层数不得少于 2 层，ϕ400 以上管桩宜为 2 层 3 道，第 1 层焊缝应采用不大于ϕ4 的焊条施焊，内层焊渣必须清理干净后方能施焊外一层，焊接时间不宜过短也不宜过长，两个焊工对焊时，ϕ300 管桩接头焊接时间宜为 8～10min，ϕ400 管桩宜为 12～15min，ϕ500 管桩宜为 15～22min，ϕ600 管桩宜为 22～28min；焊缝应连续饱满。

5 当采用二氧化碳气体保护焊时，施焊宜用两台焊机对称进行；焊缝应连续饱满。

6 焊好的桩接头应自然冷却后方可继续施打，手工电弧焊的接头自然冷却时间不应少于 5min；二氧化碳气体保护焊的接头自然冷却时间不应少于 3min。严禁用水冷却或焊好立即施打。

7 桩尖的焊接应遵照本条 4~6 的有关要求进行，重要工程宜在工厂内焊接；当在工地焊接时，宜在管桩堆放现场先焊好桩尖的上半圈，再将管桩转动 180°后施焊剩下的半圈。桩尖与桩端面的错位应≤3mm。严禁在管桩悬吊就位时放在桩底端进行点焊、仰焊等做法。

9.1.9 当桩端持力层为遇水易软化的风化岩（土）层时，沉桩施工过程中应根据设计要求进行管桩内孔封底混凝土施工。封底混凝土施工应符合下列规定：

1 桩尖应是封口型，桩尖焊接时焊缝应连续饱满不渗水；

2 当第一节桩沉入土层后，宜立即用人工向管桩内孔底部灌注高 1.5m 的 C30 细石混凝土，或沉桩完成后经灯光照射或孔内摄像检查管桩内腔完好后立即灌注封底混凝土。

9.1.10 桩数多于 30 根的群桩以及群桩基础四周的基桩，打桩施工时应按桩总数 10%左右的数量设置观测点，定时检测桩的上浮量和桩顶偏位值。基坑内施打的基桩、淤泥软土层较厚及桩端持力层为遇水易软化场区内的群桩，也应设置观测点。

9.1.11 当一根桩沉桩完毕，露出地面的桩段必须在移机前截去。管桩应采用锯桩机截割，严禁利用压桩机行走的推力强行将桩扳断、大锤横向敲击或强行扳拉的做法。桩头截除后应采用水准

仪等仪器测出其桩顶标高，待全部工程桩施压完毕，再复测一次。

9.1.12 采用封口型桩尖的管桩沉桩后，施工人员应会同监理及有关人员共同将带铁丝罩的 24V 低压灯泡或孔内摄像仪放入桩孔内检查桩内壁有无明显的破损，并作好记录。

9.1.13 沉桩后的管桩应采取有效措施封住管口；送桩遗留的孔洞，应立即回填或覆盖。

9.1.14 深基坑中的管桩工程，宜先施工工程桩后再施工刚性围护桩和进行基坑开挖，软土地区基坑较深、面积较大，需要在基坑内压桩施工，必须先进行可行性研究，确定合理施工方案后方可进行。

9.1.15 管桩工程的基坑开挖应符合下列规定：

1 严禁在同一个施工现场范围内边压（打）桩边开挖基坑；

2 饱和黏性土、粉土地区的基坑开挖，宜在压（打）桩全部完成并相隔 15d 后进行；

3 基坑开挖时应制定合理的施工方案和施工顺序，开挖时应加强监测，注意保持基坑围护结构或边坡土体的稳定；

4 挖方宜分层均匀对称进行，严禁集中一处开挖，挖土过程中桩周土体高差不宜大于 1.0m；开挖的土方不得堆积在基坑内，应及时外运；

5 严禁挖土机械碰及桩身及桩头；

6 当开挖深厚淤泥等软弱土地层中的基坑时，宜采用人工开挖；或采取地基加固处理后再用机械开挖；必要时，桩与桩之间可采用构件连接；

7 基坑顶部边缘地带不得堆土或堆放其他重物；当基坑支护结构设计已考虑挖土机等附加荷载时才允许挖土机在基坑边作业。

9.1.16 根据试桩的沉桩试验及地层结构，考虑接头焊接的间歇可能造成沉桩困难的因素，合理配置每节桩的长度，软土地区每节桩的接桩位置不宜位于同一标高处。

9.1.17 冬季施工时，管桩桩头沉入地表的深度应大于当地标准冻深，且桩孔应及时回填或采取措施或加以覆盖；

9.1.18 在淤泥质土地区沉桩，可利用冬季在坚硬的冻土层上沉桩，但应提前躲开场地翻浆期施工。

9.2 管桩的堆放及吊运

9.2.1 管桩的现场堆放应符合下列规定：

1 管桩运至现场后应按不同规格、长度及施工流程顺序分别堆放；

2 当场地条件允许时，宜单层或双层堆放；叠层堆放及运输过程堆码时，直径 500mm~600mm 的管桩不宜超过 4 层，直径 300mm~400mm 的管桩不宜超过 5 层；

3 应在垂直于管桩长度方向的地面上设置两道垫木，垫木应分别置于桩端 0.2 倍桩长处，垫木宜采用耐压的长木方或枕木，底层的外缘管桩垫木处应用木楔塞紧，防止管桩滚动、滑落。

9.2.2 取桩及吊运应符合下列规定：

1 抱压式压桩机施工用的桩，可利用压桩机上的吊车进行取桩；

2 管桩叠层堆放超过两层时，不得拖拉取桩，应采用吊机取桩；

3 叠层堆放不超过两层时，可拖拉取桩，但桩的拖地端应用废轮胎等弹性材料进行保护；

4 三点支撑履带自行式打桩机不宜采用拖拉方式取桩，宜按两台打桩机配备一台吊机进行取桩、吊桩作业；

5 滚管式打桩机拖拉取桩时，拉桩的钢丝绳必须通过设在桩架底盘的导向滑轮；

6 单吊点的位置宜设在 0.3 倍桩长处，双吊点起吊时应在 0.25 倍和 0.50 倍桩长处设置吊点。

9.3 液压式静力压桩机具

9.3.1 静力压桩设备可采用液压式压桩机。液压式压桩机的基本参数可参阅附录 E，各种详细的技术参数可参阅生产厂的产品说明书。压桩机长船型靴履的接地压强不宜大于 100kPa，短船型靴履的接地压强不宜大于 120kPa。

9.3.2 压桩机资料必须具备下列内容：

1 压桩机的产品合格证；

2 压桩机型号、机架重量（不含配重）、整机的额定压桩力等；

3 压桩机的外型尺寸及拖运尺寸；

4 压桩机的最小边桩距及压边桩机构的额定压桩力；

5 长、短船型靴履的接地压强；

6 夹持机构的形式；

7 液压油缸的数量、直径，校正和测量后的压力表读数与压桩力的对应关系；

8 吊桩机构的性能及吊桩能力。

9.3.3 压桩机的每件配重必须经过核实并将其重量标记在该件配重的外露表面。液压式压桩机桩机总重（含桩机自重和配重）应大于最大压桩力 1.2 倍；

9.3.4 压桩机的选择可参考附录 E，且应综合考虑下列因素后确定：

1 夹持机构应适应桩截面形状且桩身混凝土不发生夹裂现象；

2 压边桩的能力能满足现场施工要求；

3 最大压桩力应达到按本规程 9.5.7 条所规定的终压力值。

9.3.5 送桩器应符合下列规定：

1 施工现场应配备专用送桩器，不得采用工程用桩做送桩器；

2 送桩器横截面外廓形状应与静压桩横截面外廓形状相一致；

3 送桩器应有足够的强度和刚度；送桩器上下两个端面应平整，并与送桩器中心轴线相垂直；送桩器长度应满足送桩深度的要求，器身弯曲度不得大于 1/1000；

4 复压时所用的送桩器应采用端部设有套筒的送桩器。

9.3.6 当正常作业的压桩机不能施压工程中的边桩时，宜在压桩机侧边装置压边桩机构来施压。

9.3.7 有条件时，每台压桩机上宜装置“压桩自动记录仪”，自动记录每根桩的入土深度和压桩力，并打印出两者的关系曲线即压桩贯入阻力曲线。

9.4 锤击式打桩机具

9.4.1 锤击式打桩机应根据不同的场地条件和工程特点选用三点支撑履带自行式打桩机、步履式打桩机或滚管式打桩机等；打桩锤宜选用液压打桩锤或柴油打桩锤，不得采用自由落锤。打桩机的桩架和底盘必须具有足够的强度、刚度和稳定性，并应与所挂打桩锤相匹配。

9.4.2 柴油锤宜选用筒式柴油锤，柴油打桩锤或液压打桩锤的型号可按下列方法之一确定：

1 根据试打桩或试验桩的结果选用；

2 根据工程地质条件、单桩竖向承载力特征值、桩的规格、入土深度等因素参考本规程附录 F，并遵循“桩锤匹配、重锤低击”的原则综合考虑后选用。

9.4.3 桩帽及垫层的设置应符合下列规定：

1 桩帽应有足够的强度、刚度和耐打性；

2 桩帽下部套桩头用的套筒应做成圆筒型，圆筒型中心应与锤垫中心重合，筒体深度应为 350mm～400mm，内径应比管桩外径大 20mm～30mm。桩帽套筒应与施打的管桩直径相匹配；

3 严禁使用过渡性钢套、用大桩帽打小直径管桩；

4 打桩时桩帽套筒底面与桩头之间应设置弹性衬垫（又称桩垫）。桩垫可采用纸板、胶合板等材料制作，厚度应均匀一致。桩垫经锤击压实后的厚度应为 120mm～150mm，且应在打桩期间经常检查，及时更换或补充；

5 桩帽上部直接接触打桩锤的部位应设置“锤垫”，锤垫应用坚纹硬木或盘绕叠层的钢丝绳制作，其厚度应为 150mm～200mm，打桩前应进行检查、校正或更换。

9.4.4 送桩器及其衬垫设置应符合下列规定：

1 送桩器器身宜做成圆筒形，并应有足够的强度、刚度和耐打性，上下两端面应平整，且与送桩器中心轴线相垂直。送桩器长度应满足送桩深度的要求，器身弯曲度不得大于 1/1000;-

2 送桩器下端应设置套筒，套筒深度应为 300mm～350mm，内径应比管桩外径大 20mm～30mm；

3 不得使用只在送桩器下端面中间设置小圆柱体的插销式送桩器；也不得使用下端面不设任何限位装置的圆柱形送桩器；

4 送桩作业时，送桩器套筒内应设置硬纸板或废旧夹板等衬垫，衬垫经锤击压实后的厚度不宜小于 60mm。

9.4.5 每台打桩机宜配备一台打桩自动记录仪。

9.5 静力压桩

9.5.1 设计阶段未做静载试验桩的工程，在正式压桩施工前必须进行试压桩。试压桩应符合下列规定：

1 试压桩数量应不少于工程桩总数的 1%且不少于 5 根。试压桩宜选择工程桩；

2 试压桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；

3 试压桩应选在地质勘探技术孔附近；

4 施压方法及施压条件应与工程桩施工相一致；

5 试压桩经过 24h 停歇后应进行复压。

9.5.2 试压桩完成后应提供下列信息资料：

1 压桩全过程记录，包括桩不同入土深度时的压桩力、终压力值、终压次数、最终桩长、桩端持力层等；

2 桩身混凝土经抱压后完整性的目测检查记录；

3 压桩机整体运行情况；

4 桩接头型式及接头施工记录；

5 复压资料；

6 出现异常情况的详细记录。

9.5.3 抱压式液压压桩机的最大施压力不宜大于桩身抱压允许压桩力；送桩时的施压力可比桩身抱压允许压桩力大 10%。桩身抱压允许压桩力可按下列经验公式估算：

$$P_{jmax} \leq 0.95 f_c A \qquad (9.5.3\text{-}1)$$

式中： P_{jmax}—管桩桩身抱压力允许压桩力（kN）；

f_c—管桩混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）；

A—管桩截面面积（m^2）。

9.5.4 抱压式液压压桩机压桩作业应符合下列规定：

1 压桩机应按本规程 **9.3.3** 条及 **9.5.3** 条的规定安装能满足最大压桩力要求的配重；

2 吊桩喂桩时，单吊点位置应在 0.3 倍桩长处；

3 当机上吊机在进行吊桩喂桩过程中，压桩机严禁行走和调整；

4 喂桩时，管桩桩身两侧合缝位置应放在相邻夹具的空隙处；

5 第一节桩插入地面 0.5～1.0m 时，应严格调整桩的垂直度，偏差不得大于 0.3%；

6 压桩过程中应经常观测桩身的垂直度，垂直度偏差不宜大于 0.5%；当桩身垂直度偏差大于 0.8%时，应找出原因并设法纠正；当桩尖进入较硬土层后，严禁用移动机架等方法强行纠偏；

7 压桩过程中应经常注意观察桩身混凝土的完整性，一旦发现桩身裂缝，应立即停机，找出原因，采取改进措施后再施压；

8 压桩时的压入速度不宜大于 2m/min；

9 整个压桩过程中，严禁浮机；

10 每一根桩应一次连续压到底，中间不得无故停歇；

11 压桩时应由专职记录员及时准确地填写压桩施工记录表，并经当班监理等相关人员签名后才可作为有效施工记录。压桩施工记录表格式见附录 G。

9.5.5 遇下列情况之一应暂停压桩作业，并及时与设计、监理等研究处理：

1 压力表读数骤变或读数与地质报告中的土层性质明显不符；

2 桩难以穿越具有软弱下卧层的硬夹层；

3 实际桩长与设计桩长相差较大；

4 桩身混凝土出现裂缝或破碎；

5 沉桩过程中地下传出桩身崩裂声等异常现象；

6 桩头混凝土剥落、破裂；

7 桩身突然倾斜、跑位；

8 夹桩机构打滑；

9 地面明显隆起，附近房屋及市政设施开裂受损；

10 邻桩上浮或桩头位移；

11 压桩机下陷和倾斜等。

9.5.6 终压标准可根据下列条件和原则综合确定：

1 根据现场静载试验桩或试压桩的试验结果；

2 参考条件相似工地的施工经验；

3 终压力值除应满足本规程 9.5.3 条的规定外，尚可按本规程附录 H“静压桩的竖向抗压极限承载力与终压力的经验关系公式”来估算；

4 终压时的稳压次数应根据桩长及地质条件等因素确定，一般不宜超过 3 次；但对入土深度小于 9m 的短桩，稳压次数可增至 3～5 次。

5 终压时每次稳压时间应符合下列规定：终压力不大于 3000kN 时稳压时间不宜大于 5s；终压力大于 3000kN 时稳压时间应控制在 3～5s。

9.5.7 当无类似工程施工经验时可参照下列终压标准：

1 对于按桩长控制的摩擦型静压桩，应按设计桩长进行终压控制，终压力值作参考；

2 对于选择持力层的端承摩擦桩或摩擦端承桩，除持力层作为定性控制外，终压标准可按下列规定执行：

1） 当桩入土深度 L ＞ 25m 时，终压力值可取桩的竖向抗压承载力特征值的 2.0 倍,稳压次数为 1～2 次；但桩周土为黏性土且灵敏度较高时，终压力值则可取桩的竖向抗压承载力特征值的 1.7～1.9 倍，稳压次数为 1～2 次；

2） 当 16m ＜ L ≤ 25m 时，终压力值可取桩的竖向抗压承载力特征值的 2.0～2.4 倍，稳压次数为 2～3 次；

3） 当 9m ＜ L ≤ 16m 时，终压力值可取桩的竖向抗压承载力特征值的 2.2～3.0 倍，稳压次数为 3 次；

4) 当 6m ≤ L ≤ 9m 时，终压力值可取桩的竖向抗压承载力特征值的 2.8～3.2 倍，稳压次数为 3～5 次。

9.5.8 终压时的终压施工尚应符合下列规定：

1 当稳压次数超过 1 次时，每次终压施工的间隔时间一般不宜大于 2 min；

2 每次终压的压桩力应取终压力值，不送桩终压时，终压力不宜大于桩身抱压允许压桩力；送桩时，终压力值不应大于桩身抱压允许压桩力的 1.1 倍；

3 当根据施压实况并参照 9.5.7 条确定的终压力值大于桩身抱压允许压桩力的 1.1 倍时，施工方应及时向设计、监理方反映，宜按实际情况降低单桩竖向抗压承载力特征值，不宜超压施工，不得任意增加稳压次数和稳压时间。

9.6 锤击打桩

9.6.1 锤击打桩应符合下列规定：

1 第一节管桩起吊就位插入地面后应认真检查桩位及桩身垂直度偏差。桩位偏差不得大于 20mm。桩身垂直度偏差宜先用长条水准尺粗校，然后用两台经纬仪或两个吊线锤在互为 90°的方向上进行检测，校正后的垂直度偏差不得大于 0.5%。必要时，宜拔起管桩并在孔洞内填沙后重插；

2 当管桩一插入地表土后就遇上厚度较大的淤泥层或松软的回填土时，柴油锤应采用不点火（空锤）的方式施打；液压锤应采用落距为 20～30cm 的方式施打；

3 管桩施打过程中，宜重锤低击，应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上，并随时检查桩身的垂直度。当桩身垂直度偏差超过 0.8%时，应找出原因设法纠正；在桩尖进入硬土层后，严禁用移动桩架等强行回扳的方法纠偏；

4 在较厚的粘土、粉质粘土层中施打管桩，不宜采用大流水打桩施工法，宜将每根桩一次性连续打到底，减少中间休歇时间，不宜在接近设计深度时进行接桩；

5 当需要送桩或复打时，应事先检查管桩内孔的水量，若管桩内孔充满水，应抽去部分水以后才能施打；

6 每一作业班应配备一名专职记录员，打桩时应及时如实地填写打桩施工记录表，不得随意填写，不得事后补填，应经当班监理人员验证签名后方可作为有效的施工记录。打桩施工记录表式样见本规程附录 I。

9.6.2 当打桩过程中遇到贯入度突变、桩头桩身混凝土破裂、桩身突然倾斜跑位、锤击数过多以及地面明显隆起、邻桩上浮等情况时，应暂停打桩，并及时与设计、监理等共同分析原因，采取相应措施。

9.6.3 每根桩的总锤击数不宜超过 2500，及最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 300。

9.6.4 当一根管桩被施打到设计要求并达到收锤标准后即可收锤，终止施打。

9.6.5 除设计明确规定以桩端标高控制的摩擦桩应保证设计桩长外，其他凡指定桩端持力层的管桩基础应按设计、监理、施工等单位共同确认的收锤标准收锤。

9.6.6 收锤标准原则上应结合工程地质条件、桩的承载性状、单桩承载力特征值、桩规格及入土深度、打桩锤性能规格及冲击能量、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度等因素综合考虑确定。收锤标准应以达到的桩端持力层（定性）和最后贯入度或最后 1～3m 的每米沉桩锤击数（定量）作为主要的收锤控制指标。

9.6.7 收锤标准应通过静载试验桩或试打桩确定。试打桩应在正式开工前进行，试打桩数量不宜少于工程桩总数的 1%且不得少于 5 根，试打桩的位置、地质条件及其规格、长度具有代表性，施打工艺与工程桩一致。最后贯入度控制值可在参考本规程附录 F 或利用 Hilley（海利）打桩公式的计算结果，结合邻近工程或相近桩基条件的打桩经验并经试打桩验证后确定。

9.6.8 打桩的最后贯入度量测应在下列条件下进行：

1 桩头和桩身完好；

2 柴油锤油门设在 1～2 档且跳动正常；液压锤落距约为 80cm 且跳动正常；

3 桩锤、桩帽、桩身及送桩器中心线重合；

4 桩帽及送桩器套筒内衬垫厚度符合本规程规定；

5 打桩结束前即完成测定，不得间隔较长时间后才量测。

9.6.9 打桩自动记录仪可自动量测并记录最后贯入度；人工测量最后贯入度时，宜用一段长约 40cm 的钢卷尺片段沿桩长用胶布粘贴在管桩桩身或送桩器器身上，再用经纬仪或水准仪记录下每 10 击的沉桩量即为每一阵贯入度，同时按 5%～10%的工程桩数量测绘收锤回弹曲线。

9.6.10 最后贯入度不宜小于 20mm/10 击。最后贯入度宜连续测量 3 次，当每一阵贯入度逐次递减并达到收锤标准时就可收锤。当持力层为较薄的强风化岩层且下卧层为中、微风化岩层时，最后贯入度可适当减少，但不宜小于 15mm/10 击，此时宜量测一阵锤的贯入度，若达到收锤标准即可收锤。

9.7 高频液压振动锤沉桩

9.7.1 高频液压振动锤法沉桩施工适用于淤泥质土、软塑~可塑性黏性土、粉土和砂土地层且承载力要求不高的摩擦型桩，其它土层应通过试验确定适用性或采取辅助措施。当施工场地周边环境对噪音和振动等影响敏感时，应限制使用。

9.7.2 高频液压振动锤法沉桩施工**设备高频**液压振动锤配合大功率挖掘机使用，不宜采用起重机悬

吊式液压振动锤。振动锤功率及频率大小应根据地质条件、管桩型号、入土深度、施工场地条件、周边环境要求和当地工程经验等因素确定。

9.7.3 高频液压振动锤法沉桩施工应符合下列规定：

1 在正式沉桩施工前必须在场地内有不同代表性地层位置进行试沉桩，以确定施工参数，试沉桩时应详细观测记录桩身、桩头破损、沉桩速率变化等参数；

2 沉桩作业前，应检查振动锤减震器与连接螺栓及夹持器与振动器连接处的紧固性，不得在螺栓松动或缺件的状态下启动；

3 打桩机夹具、夹嘴可采用在管桩外夹持或采用与管桩直径配套的钢桩帽；

4 应整体起吊振动锤和管桩，严禁采用振动锤拖拉管桩；

5 第一节管桩起吊就位插入地面后应检查桩位及桩身垂直度偏差，可用两台经纬仪或两个吊线锤在互为 90°的方向上进行桩身垂直度检测；

6 管桩施打过程中，应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上，并随时检查桩身的垂直度。

7 当打桩过程中遇到贯入度突变、桩头桩身混凝土破裂、桩身突然倾斜跑位等情况时，应暂停打桩，并及时与设计、监理等共同分析原因，采取相应措施。

9.7.4 停振标准应根据设计要求确定，以桩长控制时达到设计长度即可停振；其他情况停振标准应结合地层条件、单桩承载力特征值、桩锤规格及施工频率等因素通过静载试验桩确定，到达桩端持力层时可按每分钟贯入度作为停振标准指标。

9.8 植入法沉桩

9.8.1 当在水泥土桩或旋喷桩中植入管桩时，施工应符合现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 和《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的规定。

9.8.2 当采用钻孔等成孔工艺植入法沉桩时，成孔工艺应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

9.8.2 水泥土桩的施工应满足设计要求并符合《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的相关规定。

9.8.3 水泥土中植入管桩的施工可采用静压、锤击、高频液压振动锤工艺沉桩，施工前应先进行沉桩工艺试验。

9.8.4 植入管桩的施工宜在水泥土桩施工完成 6h 内进行。

9.8.5 植入管桩施工接桩时，下节桩卡口夹具应具有足够的强度和刚度，应在下节桩顶 0.5~0.8m 处用夹具固定后方可吊装焊接上节桩。

9.8.6 机械成孔植桩施工时应符合下列要求：

1 填充料应根据设计要求选择，当采用预灌注细石混凝土时，应根据施工设备和施工组织，添加缓凝剂以满足植入桩时间需要，混凝土坍落度宜控制在 180～220mm。

2 应根据先期试桩工艺，对不同直径、深度的桩孔分别计算出填充料的灌入量，以超灌量 600~1000mm 为宜；

3 采用旋挖成孔时填充料应采用导管灌注，导管应伸至孔底，灌注填充料时应缓慢提管；

4 静压法施工过程应根据现场静载试验桩或试压桩的试验结果，确定终压标准条件控制质量，预设终压标准可取单桩承载力特征值 1.5~1.8 倍（端阻 2~2.5 倍）；

5 锤击法植入预制桩最后 1.0m 的锤击数分别不宜超过 200 击；当持力层为较薄的强风化覆盖层，且上覆土层较软弱时，最后贯入度可适当减小，但不宜高于 30mm~50mm/10 击。

9.8.7 植入法沉桩施工记录表式样见本规程附录 J。

9.9 截桩及缺陷桩处理

9.9.1 截桩时应采取以下质量保护措施：

1 当一根桩沉完后，若有露出地面的桩段，必须在移机前截去（锤击沉桩，可根据桩顶露出地面实际情况进行截桩处理），严禁利用桩机将桩强行扳断；

2 截桩的截断口宜在地面以下 20~40cm，若桩头只高出地面 1m 左右且又不妨碍施工时，可暂不截掉，但应认真保护，严禁打桩机械及运输车辆碰撞或将桩头当做锚桩使用；

3 应采用电动锯桩器截割桩头；

4 用预应力钢棒作承台锚固筋的桩头混凝土，也应用截桩导向箍作保护，再用手工凿子慢慢破碎，严禁采用大锤横向敲击或强行扳拉截桩。

9.9.2 灌注桩顶填芯混凝土时应符合下列要求：

1 浇灌填芯混凝土前，应将管桩内壁浮浆清除干净，并采用内壁涂刷水泥净浆、混凝土界面剂等措施；

2 填芯混凝土的托板宜采用 3～5mm 厚的薄钢板，并通过端板用钢筋与托板焊接定位，托板与管桩接触周边缝隙应采取可靠措施防止漏浆；

3 填芯混凝土的长度及强度等级应符合设计要求；

4 其他未尽事宜应按设计要求及管桩图集的相关规定执行。

9.9.3 对于桩身完整性较差以及接头部位有缺陷的 II、III 类桩，可采用灌芯法补强加固，加固时应符合下列规定：

1 对需要加固的缺陷桩应采取有效检测手段，查明偏位大小和方向、倾斜率、断裂等缺陷的

性质和具体位置；

2 对出现裂缝和缺陷的抗拔桩或以承受水平力为主的 III 类短桩和中长桩，宜通长灌芯；

3 灌芯前应抽尽桩孔内的积水，保证在无水条件下进行灌芯，混凝土应连续灌注至桩顶，其强度等级不应低于 C30；

4 灌芯的钢筋笼应根据缺陷桩的具体情况单独制作，主筋应不小于 4 ϕ20，桩径较大时应加大配筋量，缺陷位置上下 1.0m 范围内箍筋应加密；

5 当缺陷发生在浅部时，宜按等截面配筋，配筋应超过缺陷位置以下 2.0m；

6 受压桩的桩长较长、缺陷位置较深时，可只在缺陷位置上下各 2.0m 段配筋，钢筋笼应通过挂筋牢牢固定，防止灌芯脱落、移位。

7 对桩身出现斜裂缝、垂直裂缝、水平断裂处有明显侧向位移，以及桩身混凝土受损的 III 类受压桩，加固处理方案应进行专门研究和论证。

9.9.4 在沉桩过程中发现桩位误差过大，超过规定且偏差将使桩的受力产生不良影响时（如使桩产生过大水平力、拉拔力、弯矩等），应在施工过程中及时进行补桩。

9.9.5 完整性检测结果为 IV 类以及无法进行加固处理的 III 类桩，为报废桩，应进行补桩。

9.9.6 补桩位置和型号应由设计单位确定，补桩的型号宜根据受力情况采用相同型号桩或直径稍小的桩，补桩方法可参照以下规定执行：

1 当桩机已经离开现场，或再进入现场确有困难，若桩位误差过大对受力产生不良影响时，宜采取锤击法补桩，亦可采用锚杆静压桩法配合引孔沉桩法进行补桩；

2 若偏位较小且偏位对桩不会产生水平力和拉拔力时，可考虑采取高压旋喷桩进行补桩；

3 补桩后应对相关的承台、地梁进行相应加固处理。

9.9.7 当可以明确判定基桩承载力不足的原因，是由群桩上浮引起时，应采用复压或复打措施进行承载力补强。

10　质量检测和工程验收

10.1　桩身及桩尖的检查和检测

10.1.1　管桩运入工地后，应对下列内容进行检查和检测：

1　管桩规格、型号的核查；

2　管桩的尺寸偏差、外观质量的抽检；

3　管桩端板的抽检；

4　管桩结构钢筋的抽检；

5　管桩混凝土强度的检查；

6　管桩力学性能的检查；

7　管桩堆放及桩身破损情况的检查等。

10.1.2　管桩运入工地后，应按设计图纸、施工组织设计以及本规程第 4 章的有关要求，对照产品的合格证、运货单及管桩外壁的标志，对其规格、型号以及种类逐条进行检查。龄期不足的预制桩严禁使用。

10.1.3　运入工地的管桩，应对管桩的尺寸偏差、外观质量和单节长度进行抽查，抽查数量不得少于 2%的桩，节数且不得少于 2 节，管桩的尺寸偏差和外观质量应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的有关规定。当抽检结果出现一根桩节不符合质量要求时，应加倍检查，若再发现有不合格者，则该批桩不得使用并必须撤离现场。

10.1.4　当管桩采取焊接接头时，应按行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 的有关规定检查桩套箍和端板的质量，重点应检查端板的材质、厚度和电焊坡口尺寸。抽检端板厚度的桩节数量不得少于 2%的桩节数且不得少于 2 节；电焊坡口尺寸检查应逐条进行。凡端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩严禁使用。端板的材质检查可先查阅管桩或端板生产厂家所提供的材质检验报告，必要时可在工地上随机选取 2～3 个端板，送到具有金属材料检测资质的检测单位进行化学成分和力学性能的检测，若检测不合格，该批桩不得使用。

10.1.5　管桩结构钢筋抽检的主要内容应为预应力钢筋的数量和直径，螺旋筋的直径、间距和加密区的长度，以及钢筋的混凝土保护层厚度。每个工地抽检桩节数不应少于 2 根，可利用先施工的 2m 以上长度的余桩经人工破碎后进行检测；若工地没有余桩可利用，则应在工地上随机选取二

节桩经人工破碎后检测。检测螺旋筋直径可用游标卡尺；检测螺旋筋间距和加密区长度可用钢卷尺；检测预应力钢筋规格可截一段钢筋称其重量；检查保护层厚度可用深度游标卡尺。检测结果应以应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的有关规定，凡发现有不合格者，该批桩以后不得使用。已打入的桩应采取处理措施。管桩所用预应力钢筋和螺旋筋的材质应符合现行国家有关标准的规定，检查时一般可查阅钢材生产厂的产品质量报告及管桩生产厂抽检报告，有怀疑时可送有资质的检测单位进行检测。

10.1.6 桩身混凝土强度等级的检查可查阅管桩生产厂家提供的产品合格证书；当对桩身混凝土强度等级有争议时，可采用钻芯方法检测。钻芯不得在施压（打）过的管桩上钻取。钻芯检测应符合国家标准《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T19496 的有关规定。

10.1.7 管桩力学性能的检查可查阅管桩生产厂家提供的产品合格证书；当对管桩力学性能有争议时，可按国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476-2009 规定的方法进行桩身力学性能检验，检验结果应满足本规程附录 A 所列弯矩值和剪力值。

10.1.8 桩尖的检查和检测，应按设计要求进行。生产厂家应提供桩尖钢材化学成分和力学性能的测试报告。桩尖的规格、构造的检查和验收应按设计的要求进行。常用管桩的桩尖检查除应量测各尺寸外，尚可随机抽取 5%的桩尖进行重量的检查。若单个桩尖重量达不到规定理论重量的 90%应作不合格论。不得使用不合格的桩尖。

10.1.9 运到工地的管桩若需叠堆时，应按本规程 9.2.1 条的有关要求检查堆放的场地条件、垫木材质、尺寸及位置、堆放层数等，防止管桩受损。

10.1.10 对管桩的拖拉和起吊应进行旁站监理，当管桩起吊就位前，应认真检查管桩在运输、装卸、拖拉、堆放过程中有否产生裂缝。

10.2 压桩过程中的工程质量检查和检测

10.2.1 压桩过程中工程质量检查和检测应包括下列内容：

1 桩位的复测；

2 压桩机具的检查；

3 桩身垂直度检测；

4 桩接头施工质量监控；

5 终压力值、终压次数和稳压时间的监控；

6 压桩记录的监督和检查；

7 压桩对周围环境影响的监测；

8 基坑开挖和截桩头的监控等。

10.2.2 桩位经施工单位放线定位后，监理人员应根据本规程 9.1.1 条的有关要求对桩位进行复核。在压桩过程中，应随时注意桩位标记的保护，防止桩位标记发生错乱和移位。

10.2.3 压桩机具的检查应根据本规程 9.3 节的有关要求进行。

10.2.4 桩身垂直度检测应按下列规定执行：

1 根据本规程 9.5.4 条的有关规定，首先应检查第一节桩定位时的垂直度；当垂直度偏差不大于 0.3%时，方可开始施压；

2 根据本规程 9.5.4 条的有关规定，在施压过程中，应经常观测桩身的垂直度，当桩身垂直度偏差大于 0.8%时，应找出原因并设法纠正；当桩尖进入较硬土层后，严禁用移动机架等方法强行纠偏；

3 测量桩身垂直度可用吊线锤法。送桩前应测量一次桩身垂直度。成桩后的桩身垂直度测量应在基坑土方开挖后进行。

10.2.5 焊接接头的施工应按本规程 9.1.8 条的规定执行，检查和监控的内容应包括：电焊工上岗资质证件；焊条的质量和直径；电焊坡口的尺寸；焊接所用的时间；焊缝的质量；焊完后的停歇时间等。

10.2.6 终压监控应按本规程 9.5.6 条～9.5.8 条的有关规定执行。

10.2.7 压桩记录的审核应按下列规定进行：

1 当压桩机上配置压桩自动记录仪时，可查阅自动记录仪打印的各种压桩数据；

2 当压桩机上没有配备压桩自动记录仪时，应先检查压桩作业班组是否安排专人记录，并应监控专职记录员认真如实填好压桩记录表，检查压桩记录表是否齐全、真实、清楚；

3 每一根桩经监理等人员签名确认后，方可作为有效的施工记录。

10.2.8 压桩对周围环境影响的监测应注意下列几点：

1 压桩过程中，应根据本规程 9.1.4 条的规定和施工组织设计（施工方案）的安排，监控压桩顺序；

2 当采用引孔压桩法施工时，应按本规程 9.1.7 条的规定进行监理；

3 压桩时应密切注意四周建（构）筑物、道路、市政设施和工地现场土体的变化，除应按本规程 9.1.4 条和 9.1.6 条的规定作出相应的安全技术措施外，尚应及时检测其变形情况；

4 当桩较密或挤土效应明显的静压桩工程，应根据本规程 9.1.11 条的规定设置观测点，定时检测基桩的上浮量及桩顶偏位值等。

10.2.9 终压后应按本规程 9.1.13 条的规定，检查静压管桩顶部孔口封堵及送桩所造成的孔洞回填的情况。

10.3 打桩过程中的工程质量检查和检测

10.3.1 打桩过程中工程质量检查和检测的主要内容应包括下列几项：

1 桩位的复测；

2 打桩机具的检查；

3 桩身垂直度检测；

4 桩接头施工质量监控；

5 收锤监控；

6 打桩记录的监督和检查；

7 打桩对周围环境影响的监测；

8 基坑开挖和截桩头的监控等。

10.3.2 桩位经施工单位放线定位后，监理人员应根据本规程 9.1.1 条的有关要求对桩位进行复核。在打桩过程中，应随时注意桩位标记的保护，防止桩位标记发生错乱和移位。对于大承台群桩基础四周边缘的基桩，宜根据本规程 9.6.1 条的规定，待承台内其他桩全部打完后再重新测定桩位，再施打。

10.3.3 打桩机具的检查应按下列要求进行：

1 根据本规程 9.4.1 条～9.4.2 条的规定和试打桩（静载试验桩）的结果，检查打桩架及打桩锤（柴油锤或液压锤）是否适用和 匹配；

2 根据本规程 9.4.3 条的规定，检查桩帽筒体的结构和尺寸，桩垫和锤垫的材质和厚度；

3 根据本规程 9.4.4 条的规定，检查送桩器的构造和尺寸、以及送桩器端部所设置的衬垫厚度；

4 打桩机上若配备打桩自动记录仪时，应检查打桩自动记录仪是否运作正常；

5 检查施工现场配备的施工机具是否满足施工要求。

10.3.4 桩身垂直度检测应按下列规定执行：

1 根据本规程 9.6.1 条的有关规定，首先应检查第一节桩定位时的垂直度；当垂直度偏差不大于 0.5%时，方可开锤施打；

2 在施打过程中，应根据 9.6.1 条的有关规定，随时注意保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在

同一直线上；

3 送桩前，应根据本规程 9.1.5 条的有关规定，检查桩身的垂直度；

4 测量桩身垂直度可用吊线锤法，需送桩的管桩桩身垂直度可利用送桩前桩头露出自然地面 1.0～1.5m 时测得的桩身垂直度作为该成桩的垂直度，但深基坑内的基桩，应待深基坑土方开挖后再次测量桩身垂直度作为该桩的桩身垂直度。

10.3.5 管桩焊接接头连接质量检查和监控应按本规程第 10.2.5 条的规定执行。

10.3.6 收锤监控应按下列规定进行：

1 根据本规程 9.6.5～9.6.7 条的有关规定，合理确定打桩收锤的控制标准；

2 根据本规程 9.6.8～9.6.9 条的规定，正确进行人工测量最后贯入度或正确测绘出收锤回弹曲线；若用打桩自动记录仪，应测出最后贯入度和最后 1m 沉桩锤击数等测试数据；

3 当最后贯入度发生异常时，应立即停止施打，找出原因；

4 当打桩过程中遇到沉桩困难、锤击数过多时，应根据本规程 9.6.3 条的规定，检查桩的总锤击数和最后 1m 沉桩锤击数，若超过时，应暂停施打，分析原因，提出合理解决办法；

5 根据本规程 9.1.5 条的规定，旁站监理送桩的深度和最后贯入度等收锤控制指标的测量。

10.3.7 打桩记录的审核应按下列规定进行：

1 若打桩机上配置打桩自动记录仪，则可查阅自动记录仪打印的各种打桩数据。

2 若打桩机上没有配备打桩自动记录仪，则要先检查打桩作业班组是否安排专人记录，并要监控专职记录员认真如实填好打桩记录表，检查打桩记录表是否齐全、真实、清楚。

3 每一根桩收锤及成桩桩孔内壁经灯光照射或孔内摄像检查完毕，经监理等人员签名确认后，方可作为有效的施工记录。

10.3.8 打桩对周围环境影响的监测应按本规范第 10.2.8 条执行。

10.3.9 打桩收锤后，应按本规程 9.1.13 条的规定检查管桩顶口及送桩遗留孔洞的封盖情况。

10.4 植桩过程中的工程质量检查和检测

10.4.1 预成孔植桩应进行桩位、孔径、桩长、桩身完整性和单桩承载力检验。

10.4.2 预成孔植桩施工使用的水泥、砂、石、焊条等原材料质量的检测项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

10.4.3 预成孔植桩应满足本规范 10.1 节，10.2 节，10.3 节的有关规定。

10.4.4 预成孔植桩施工过程中应进行下列检查、检验：

1　检查钻头直径，使满足成孔直径的要求；

2　校核钻头与桩位的对中情况；

3　检验成孔直径；

4　校核钻孔终孔时孔底标高、孔底土层性状及进入持力层深度；

5　检查孔底地下水情况；

6　检查沉渣厚度；

7　检查填充料灌入量；

8　检查焊缝质量。

10.4.5　现场应取水泥浆和细石混凝土制作试块，每个台班不得少于一组，每组应制作试块数量 3 件。

10.4.6　预成孔植桩施工过程中对周围环境影响的监测应按本规范第 10.2.8 条执行

10.5 成桩质量检测

10.5.1　成桩质量的检测应包括下列内容：

1　桩身垂直度；

2　截桩后的桩顶标高；

3　桩顶平面位置；

4　桩身的完整性；

5　单桩承载力。

10.5.2　成桩桩身垂直度检查应符合下列规定：

1　逐根检查；

2　检查方法，对于静压桩应按本规程 10.2.4 条的规定执行，对于锤击桩应按本规程 10.3.4 条的规定执行；

3　桩身垂直度允许偏差为 1%。

10.5.3　桩顶的实际标高与设计标高的允许偏差为±10mm。桩顶标高可用水准仪测量。

10.5.4　设计标高处桩顶平面位置的允许偏差应符合下列表 10.5.4 的规定。宜用全站仪进行测量。

表 10.5.4　管桩桩顶平面位置的允许偏差

项　　目	允许偏差（mm）

项　　目	允许偏差（mm）
单排或双排桩条形桩基	
①垂直于条形桩基纵向轴的桩	100
②平行于条形桩基纵向轴的桩	150
承台桩数为 1～3 根的桩基	100
承台桩数为 4～16 根的桩基	
①周边桩	100
②中间桩	d/3 或 150 两者中较大者
承台桩数多于 16 根的桩基	
①周边桩	d/3 或 150 两者中较大者
②中间桩	d/2

10.5.5　成桩桩身完整性和单桩竖向抗压承载力检测应符合下列规定：

1　采用封口型桩尖且接头为电焊焊接的基桩，应在每一根桩终压或收锤后，由监理人员和施工人员用带铁丝罩的24V低压灯泡吊放入管桩内孔从上到下再从下到上慢慢用灯光照射管壁作目测检查，并且应用吊锤检查桩管的实际深度与沉桩的记录长度是否一致，对桩底或内壁有进泥、进水、断桩、烂桩尖等现象作详细记录；同样的检查宜在 24 h 后再进行一次。有条件的工地可用孔内摄像仪进行检查；

2　应采用低应变动测法进行桩身完整性检测和静载荷试验进行单桩竖向抗压承载力检测。桩身完整性检测数量不应少于总桩数的 20%，且不应少于 10 根，柱下承台抽检桩数不得少于 1 根，单桩及两桩承台下的桩应全部检测。静载荷试验的抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时，不得少于 2 根。最大试荷不应小于 2 倍单桩竖向抗压承载力特征值；试验方法应按辽宁省标准《建筑基桩及复合地基检测技术规程》DB 21/T1450 执行。

3　当有本地区相近条件的对比验证资料或有本场地试桩静动对比资料时，可采用高应变动测法同时进行桩身完整性检测和单桩竖向抗压承载力检测。抽检桩数不应少于同条件下总桩数的 8%，且不得少于 10 根。

4　桩身完整性分类应符合以下规定：

1)　接桩位置无明显桩身反射、混凝土波速正常、 桩底反射明显、桩身垂直的桩可以判定为 I 类桩；

2) 桩身或接桩部位有轻微缺陷、混凝土波速基本正常、桩底反射明显的桩可以判定为 II 类桩；

3) 桩身出现轻微缺陷的受压桩宜先判为 III 类桩，并应根据条件采取其他辅助检测手段通过验证检测进一步详判；

4) 当受检桩符合上述 1~3 条款规定，但垂直度偏差较大时，完整性应依次下调一个等级；

5) 桩身出现明显的反射或肉眼可以观察到斜裂缝或垂直裂缝以及桩身混凝土受损的受压桩，应判定为 III 类或 IV 类桩；

6) 出现裂缝和缺陷的永久结构的抗拔桩或以承受水平力为主的桩，应判定为 III 类或 IV 类桩；

7) 应查明缺陷位置与桩身接头位置的关系，审慎判定桩身接头附近的缺陷性质，确认接头焊缝质量存在轻微缺陷时，对受压桩可判定为 II 类桩；当接头附近桩身存在缺陷时，应按本条 2~5 条款要求进行判别。

10.5.6 设计阶段所做的静载试验桩，如果桩身未破坏且单桩竖向抗压承载力大于等于 2 倍单桩竖向抗压承载力特征值，这类桩桩数的一半可计入同方法验收抽检数量。

10.5.7 当设计需要进行成桩的单桩水平承载力或单桩竖向抗拔承载力的检测时，抽检桩数应不少于同条件下总桩数的 1%，且不得少于 3 根。检测方法应按辽宁省标准《建筑基桩及复合地基检测技术规程》DB 21/T1450 执行。

10.5.8 管桩承载力抽检的开始时间即从成桩到开始进行高应变动测或静载试验的间歇时间应符合下列规定：对砂土、碎石土层，不宜少于 7 d；对于粉土层，不宜少于 10 d；对非饱和黏性土层，不宜少于 15 d；对于饱和黏性土，不宜少于 25 d；对于当地经验确认桩端持力层有易软化现象的风化岩层，不应少于 25 d。

10.5.9 预成孔植桩成桩质量检查应符合 10.5.1~10.5.4 条的有关规定。

10.5.10 预成孔植桩的桩身完整性及单桩承载力检测应符合 10.5.5 条的有关规定。

10.5.11 管桩复合地基除应按本规程 10.5.5 条进行桩身结构完整性检测、单桩竖向抗压承载力试验外，尚应进行复合地基平板载荷试验，复合地基平板载荷试验的检测数量和检测方法合行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ340 的有关规定。

10.5.12 下列管桩基础工程应在承台完成以后的施工期间及使用期间进行沉降变形观测直到沉降达到稳定标准：

1 设计等级为甲级的管桩基础工程；

2 地质条件较复杂的设计等级为乙级的管桩基础工程；

3 桩端持力层为易软化的风化岩层的管桩基础工程。

10.6 验证与扩大检测

10.6.1 当检测发现单桩承载力和桩身完整性不满足相应要求时，应分析原因，必要时进行扩大检测：

1 当单桩承载力检测结果不满足设计要求时，应综合分析地质条件、施工终压力、最后贯入度、桩身完整性等因素，并宜检查土塞高度、孔内积水情况，分析、确认原因后进行扩大检测；

2 有条件时，可以采用高应变法进行承载力和完整性扩大检测，扩大检测数量根据具体情况宜取总桩数的 2%~5%；

3 桩身完整性检测发现 III、IV 类桩数大于抽检桩的 10%时，应在未检桩中加倍抽检，并分析其原因；

4 桩身完整性检测发现 III、IV 类桩数大于抽检桩的 20%时，应对全部工程桩进行桩身完整性检测；

10.6.2 对低应变法检测中不能明确完整性类别的桩或 III、IV 类桩时，可根据实际情况采用静载荷试验、开挖法、灯探与孔内摄像仪等适宜的方法进行验证检测：

1 开挖验证检测的桩不应少于 3 根，开挖检查时，当裂缝长度小于桩截面周长的 1/3，且均为水平裂缝时，可将相似波形的桩改判为 II 类桩；

2 开挖验证时，对于浅部缺陷较重的 III 类桩，应截除缺陷部位以上的桩身，再次进行低应变和垂直度检测，检测结果符合要求后方可接桩处理；

3 开挖检测困难时，应采用灯探目测、孔内摄像仪结合桩顶偏位、桩身倾斜、施工情况，以及岩土工程条件等综合判定，仍然存在疑问时，应判为 III 类桩。

10.6.3 应对补强加固后的缺陷桩全部进行低应变检测，当需要加固处理的缺陷桩数量较多时，还应抽检经过补强的原 III 类桩进行承载力验证检测；

10.6.4 当经过扩大检测和验证检测后发现 III 类、IV 类数量仍然较多时，应由当地质量管理部门组织有关专家与设计、施工、监理等部门共同研究处理方法。

10.6.5 当沉桩施工中桩的破碎率超过 3%，或对桩身混凝土强度产生怀疑时，应上报当地质量管理部门，由其进行桩身强度检测。

10.7 工程验收

10.7.1 管桩基础工程验收程序应符合下列规定：

1 当桩顶标高与施工现场标高基本一致时，可待全部管桩施压完毕后一次性验收；

2 当需要送桩时，在送桩前应进行中间检查，合格后方可送桩；

3 全部管桩沉桩完毕并开挖到设计标高后再进行工程竣工验收。

10.7.2 管桩基础工程验收时应具备下列资料：

1 施工合同、施工许可证件、施工单位资质证书；

2 桩基设计文件和施工图，包括施工图纸会审纪录、设计变更通知书；

3 桩位测量放线图，包括工程基线复核签证单；

4 岩土工程勘察报告；

5 经批准的施工组织设计或施工方案，包括实施中的变更资料；

6 管桩出厂合格证、产品说明书；

7 沉桩施工记录汇总，包括桩位编号图、终压力值、终压次数、打桩施工记录汇总等；

8 工地用桩检查资料，包括桩端板和桩尖的尺寸和材质抽检，预应力钢筋和螺旋筋抽检、电焊条规格和质量检查、接头焊缝验收记录等汇总资料；

9 沉桩工程竣工图（桩位实测偏位情况，补桩、试桩位置等）；

10 成桩质量检查报告（桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩身完整性检测报告等）；

11 单桩承载力检测报告；

12 质量事故处理记录；

13 施工技术措施记录、技术总结资料等。

14 预成孔植桩除应满足 10.7.1、10.7.2 条的要求外，尚应有同条件水泥浆或细石混凝土试块的检测合格报告，预成孔过程施工记录汇总。

附录 A 管桩的结构形式、桩身配筋及相关参数表(A.0.1 管桩的结构形式；A.0.2 受压管桩与承台的连接构造；A.0.3 受拉管桩与承台的连接构造；A.0.4 管桩常用桩型桩身配筋及相关参数）

附录 A　管桩结构形式、桩身配筋及相关参数表

A.0.1　管桩的结构形式

A.0.1-1　环形截面桩（PHC、PHCtk、PHCts、PHCtn）构造形式见图 A.0.1-1。

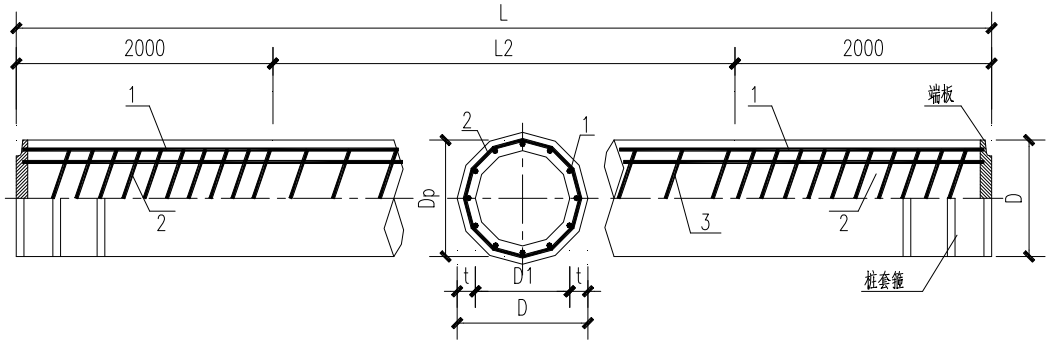


图 A.0.1-1　环形截面桩结构形式

1－纵向预应力钢筋； 2 －螺旋箍筋@45；3－螺旋箍筋@80；

D—管桩外径；D_1—管桩内径；t—管桩壁厚;D_p—预应力钢棒分布直径

A.0.1-2　方箱形截面桩（PHS、PHStk、PHSts、PHStn）构造形式见图 A.0.1-2。

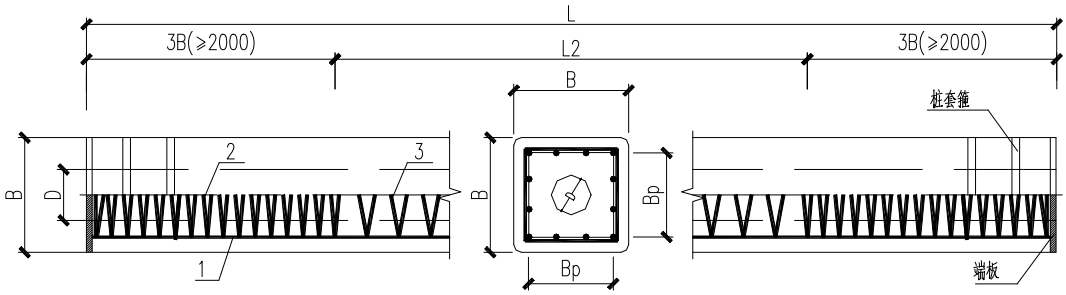


图 A.0.1-2　方箱形截面桩结构形式

1－纵向预应力钢筋； 2 －螺旋箍筋@50；3－螺旋箍筋@100；

B—方桩外边长；D—管桩内径；B_p—预应力钢棒分布直径

A.0.2　受压管桩与承台连接构造见图 A.0.2（环形截面和箱型截面连接构造相同）。

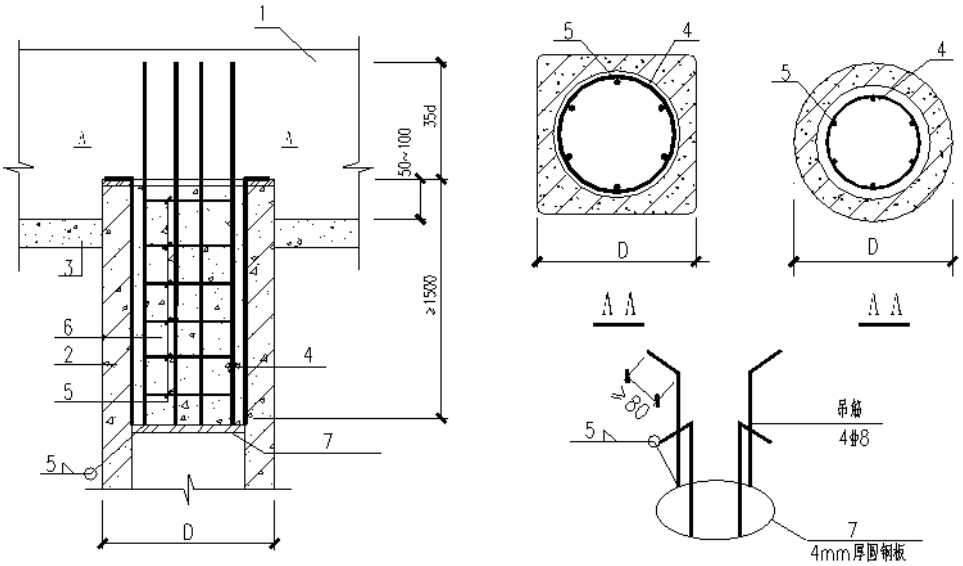


图 A.0.2　受压管桩与承台连接构造图

1－承台或底板；2－管桩；3－垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；

5—灌芯混凝土内箍筋；6—微膨胀混凝土灌芯；7—支托钢板及吊筋

灌芯混凝土内配筋表

管桩外径（边长）（mm）	灌芯混凝土内配筋表	
	4	5
300	4C14	A6@200
400	4C16	A6@200
500	6C16	A8@200
600	6C18	A8@200

A.0.3　受拉管桩与承台连接构造图（环形截面和箱型截面连接构造相同）。

A.0.3-1　不截桩受拉管桩与承台连接构造见图 A.0.3-1

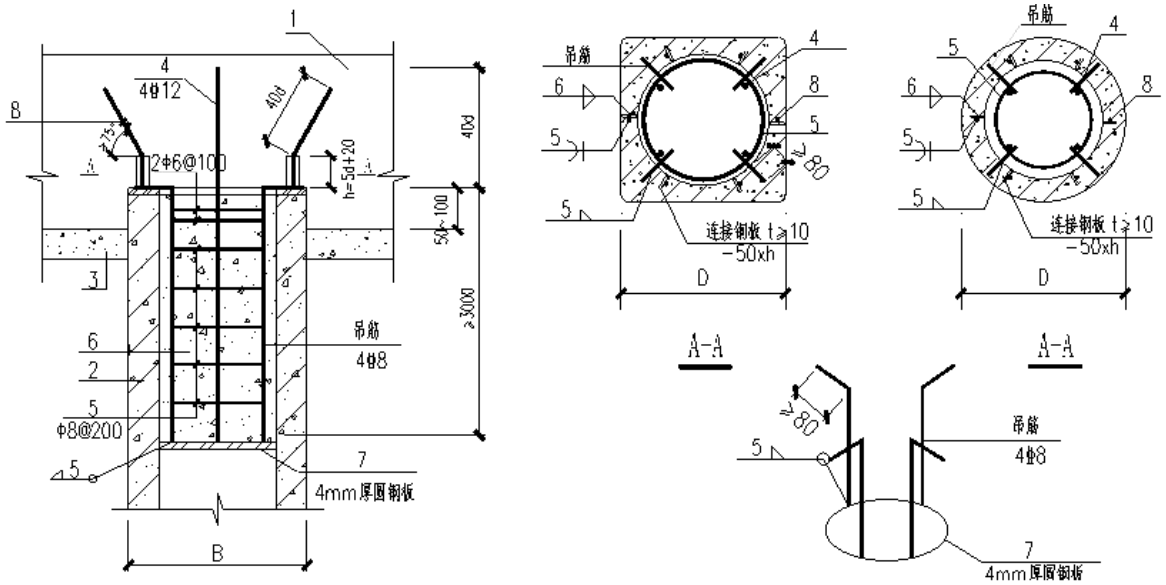


图 A.0.3-1　不截桩受拉管桩与承台连接构造图

1－承台或底板；2－管桩；3－垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；

5—灌芯混凝土内箍筋；6—微膨胀混凝土灌芯；7—支托钢板及吊筋；8-锚固钢筋

A.0.3-2　截桩受拉管桩与承台连接构造见图 A.0.3-2

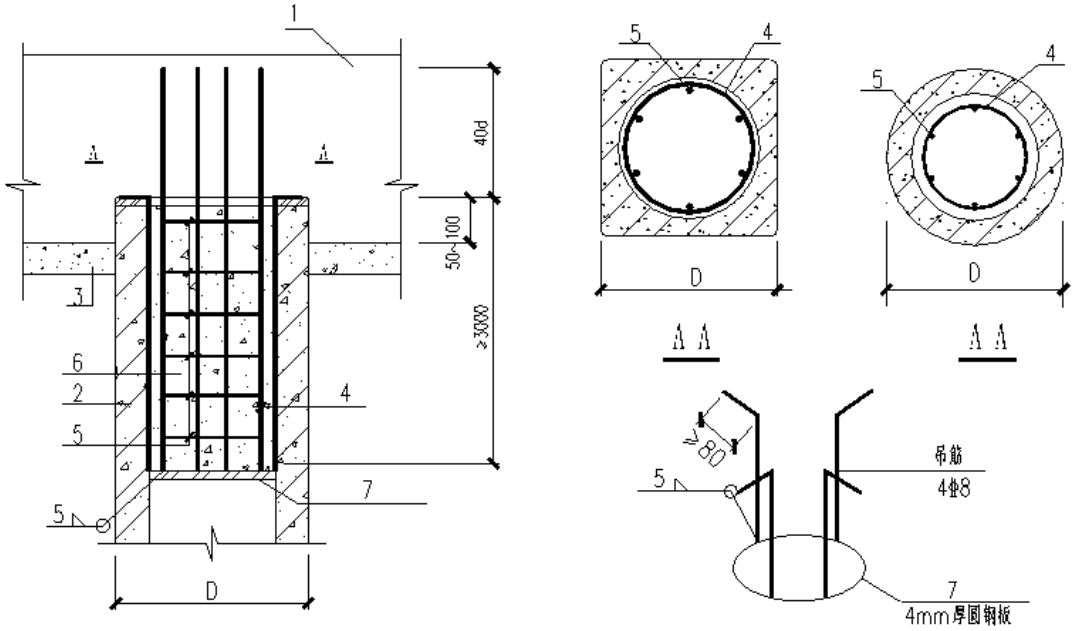


图 A.0.3-2　截桩受拉管桩与承台连接构造图

1－承台或底板；2－管桩；3－垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；

5—灌芯混凝土内箍筋；6—微膨胀灌芯混凝土；7—支托钢板

A.0.4 管桩常用桩型桩身配筋和力学性能表

A.0.4-1 预应力高强混凝土（PHC）管桩桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-1。

表 A.0.4-1 PHC 桩桩身配筋和力学性能表（1）

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	管桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布直径 d_p (mm)	保护层厚度 mm	管桩截面换算面积 A_0 mm^2x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHC 300 70	A	7～11	6Φ7.1	240	4 12.57	50.6	0.47	230	27	51.6	2.481	132	4.15	1271	1544	941	1144	1726
	AB		6Φ9.0	384			0.76		26	52.2	2.508		6.37					
	B		8Φ9.0	512			1.01		26	52.8	2.532		8.19					
	C		8Φ10.7	720			1.42		25	53.6	2.572		10.87					
PHC 400 95	A	7～12	7Φ9.0	448	4 12.57	91	0.49	308	37	92.9	5.916	237	4.30	2288	2778	1695	2058	3104
	AB		7Φ10.7	630			0.69		36	93.7	5.962		5.87					
	B	7～13	10Φ10.7	900			0.99		36	94.8	6.030		8.03					
	C		13Φ10.7	1170			1.29		36	96.0	6.100		10.01					
PHC 500 100	A	7～14	11Φ9.0	704	5 19.63	125.7	0.56	406	37	128.6	10.923	327	4.84	3158	3835	2339	2841	4286
	AB	7～15	11Φ10.7	990			0.79		36	129.8	11.024		6.59					
	B		11Φ12.6	1375			1.09		35	131.5	11.160		8.75					
	C		13Φ12.6	1625			1.29		35	132.5	11.247		10.06					
PHC 500 125	A	7～14	12Φ9.0	768	5 19.63	147.3	0.52	406	37	150.5	11.769	383	4.53	3701	4494	2741	3329	5024
	AB	7～15	12Φ10.7	1080			0.73		36	151.8	11.878		6.18					
	B		12Φ12.6	1500			1.02		35	153.6	12.026		8.24					
	C		15Φ12.6	1875			1.27		35	155.2	12.158		9.93					

表 A.0.4-1　PHC 桩桩身配筋和力学性能表（1）（续表）

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	管桩横截面积 A mm2x10^3	配筋率 (%)	预应力钢棒分布直径 d_p (mm)	保护层厚度 mm	管桩截面换算面积 A_0 mm^2x10^3	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHC 600 110	A	7～15	14Φ9.0	896	5 19.63	169.3	0.53	506	37	173.1	18.192	440	4.60	4255	5167	3151	3827	5775
	AB		14Φ10.7	1260			0.74		36	174.6	18.358		6.26					
	B		14Φ12.6	1750			1.03		35	176.7	18.581		8.34					
	C		17Φ12.6	2125			1.25		35	178.3	18.751		9.81					
PHC 600 130	A	7～15	16Φ9.0	1024	5 19.63	192.0	0.53	506	37	196.3	19.475	499	4.63	4824	5857	3573	4339	6546
	AB		16Φ10.7	1440			0.75		36	198.0	19.664		6.31					
	B		16Φ12.6	2000			1.04		35	200.4	19.919		8.40					
	C		20Φ12.6	2500			1.30		35	202.5	20.146		10.12					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80,fc=35.9 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2；

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响；

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算；

4.预应力钢筋的有效拉应力 = $\sigma_{ce}(A\text{-}A_a/A_a)$；

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算；

6. 桩身轴心受压承载力特征值按桩身轴心受压承载力设计值除以 1. 35 计算。

表 A.0.4-1　PHC 桩桩身配筋和力学性能表（2）

代 号 外径 D 壁厚 t (mm)	型 号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等直径实心圆截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHC 300 70	A	25	27	40	214	204	108	93	104	71	82	279	64	85	28	39
	AB	31	41	59	333	326	113	104	115	73	84	340				
	B	36	52	75	432	435	117	113	124	75	86	328				
	C	43	67	94	583	612	123	124	135	77	88	368				
PHC 400 95	A	60	67	98	399	381	195	159	178	115	134	354	128	166	66	93
	AB	70	87	117	550	536	202	174	197	117	136	408				
	B	84	117	159	761	765	210	192	211	122	141	391				
	C	97	143	194	961	995	218	207	226	126	145	375				
PHC 500 100	A	118	131	176	622	598	272	241	280	176	215	350	183	241	132	188
	AB	138	176	238	855	842	282	262	301	179	218	403				
	B	164	230	311	1151	1169	294	286	325	182	221	453				
	C	180	261	353	1333	1381	302	299	338	185	224	441				
PHC 500 125	A	123	135	183	682	653	317	274	301	199	226	352	183	241	132	188
	AB	144	184	248	938	918	328	298	325	202	229	406				
	B	170	242	327	1266	1275	342	326	353	205	232	459				
	C	193	288	388	1542	1594	353	346	373	210	237	442				

表 A.0.4-1　PHC 桩桩身配筋和力学性能表（2）（续表）

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等直径实心圆截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHC 600 110	A	191	205	277	796	762	365	311	373	226	288	352	245	330	233	332
	AB	224	278	375	1094	1071	378	337	399	230	292	405				
	B	265	365	493	1474	1488	394	368	430	233	295	457				
	C	295	423	571	1750	1806	405	388	450	238	300	443				
PHC 600 130	A	205	225	304	909	870	414	348	398	250	300	351	245	330	233	332
	AB	240	306	413	1249	1224	429	379	429	254	304	405				
	B	285	402	543	1683	1700	447	414	464	258	308	457				
	C	323	477	644	2050	2125	462	441	491	265	315	441				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80,fc=35.9 N/mm^2 ;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2；

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响；

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算；

4.预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A-A_d/A_a)$；

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算；

6.填芯混凝土强度等级 C30；

7.等直径实心圆截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；D=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm，混凝土取 C30；

8.等直径实心圆截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2，混凝土取 C30。

A.0.4-2 厚壁预应力高强混凝土（PHCtk）管桩桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-2。

表 A.0.4-2 PHCtk 桩桩身配筋和力学性能表

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	管桩横截面积 A $mm2x10^3$	配筋率 (%)	预应力钢棒分布直径 d_p (mm)	保护层厚度 mm	管桩截面换算面积 A_0 mm^2x10^3	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p ≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤ (KN)
														抱压式锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHC_{tk} 400 110	A	7～12	10 φ 7.1	400	4 12.57	100.17	0.40	290	47	101.87	6.112	260	3.54	2517	3057	1864	2264	3416
	AB		10 φ 9.0	640			0.69		46	102.89	6.166		5.45					
	B	7～13	10 φ 10.7	900			0.90		45	104.0	6.224		7.38					
	C		13 φ 10.7	1170			1.17		45	105.15	6.285		9.23					
PHC_{tk} 500 145	A	7～14	12 φ 9.0	768	5 19.63	161.63	0.48	386	47	164.9	12.128	420	4.16	4062	4932	3008	3653	5512
	AB	7～15	12 φ 10.7	1080			0.67		46	166.2	12.227		5.68					
	B		12 φ 12.6	1500			0.93		45	168.0	12.360		7.59					
	C		15 φ 12.6	1875			1.16		45	169.6	12.479		9.18					
PHC_{tk} 600 175	A	7～15	16 φ 9.0	1024	5 19.63	233.54	0.47	486	47	237.9	20.986	607	3.86	5869	7126	4347	5279	7965
	AB		16 φ 10. 7	1440			0. 62		46	239.7	21.160		5. 28					
	B		16 φ 12. 6	2000			0. 86		45	242.1	21.395		7. 08					
	C		20 φ 12. 6	2500			1. 07		45	244.2	21.605		8. 58					

备注:1. 管桩混凝土强度等级为 C80, f_c=35.9 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值 f_{py}=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值 f_{yv}=320 N/mm^2

2. 桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3. 混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4. 预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A-A_a/\ A_a)$

5. 桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6. 填芯混凝土强度等级 C30

表 A.0.4-2　PHCtk 桩桩身配筋和力学性能表（续表）

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等直径实心圆截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} (mm)	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ=1%	ρ=1.5%
PHC_{tk} 400 110	A	58	55	73	438	336	211	167	181	127	141	279	128	166	66	93
	AB	70	86	113	604	540	220	189	203	130	144	346				
	B	83	115	152	835	764	229	207	221	132	146	396				
	C	95	141	189	1053	993	237	224	238	136	150	381				
PHC_{tk} 500 145	A	122	130	172	686	653	346	295	314	216	235	355	183	241	132	188
	AB	142	178	236	944	918	357	322	341	219	238	409				
	B	167	236	315	1275	1275	371	352	371	222	241	464				
	C	188	282	378	1557	1594	382	374	393	228	247	449				
PHC_{tk} 600 175	A	205	211	281	918	870	496	406	433	296	323	357	245	330	233	332
	AB	237	290	386	1265	1224	511	441	468	300	327	412				
	B	278	389	520	1714	1700	530	483	510	304	331	469				
	C	313	466	626	2095	2125	546	515	542	312	339	455				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80,fc=35.9 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4.预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A-A_a/\ A_a)$

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等直径实心圆截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；D=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm，混凝土取 C30；

8.等直径实心圆截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2，混凝土取 C30。

A.0.4-3 厚壁预应力超高强混凝土（PHCts）管桩桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-3。

表 A.0.4-3 PHCts 桩桩身配筋和力学性能表

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm²)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm²)	管桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布直径 d_p (mm)	保护层厚度 mm	管桩截面换算面积 A_0 mm²x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm³x10⁶)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm²	桩身轴心受压承载力设计值 R_p ≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤ (KN)
														抱压式锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHCts 400 110	A	7～12	10 φ 7.1	400	4 12.57	100.17	0.40	290	47	101.87	6.108	260	3.51	3246	3942	2404	2920	4406
	AB		10 φ 9.0	640			0.69		46	102.89	6.159		5.45					
	B	7～13	10 φ 10.7	900			0.90		45	104.0	6.215		7.43					
	C		13 φ 10.7	1170			1.17		45	105.15	6.272		9.31					
PHCts 500 145	A	7～14	12 φ 9.0	768	5 19.63	161.63	0.48	386	47	164.9	12.116	420	4.15	5238	6360	3880	4711	7109
	AB	7～15	12 φ 10.7	1080			0.67		46	166.2	12.211		5.70					
	B		12 φ 12.6	1500			0.93		45	168.0	12.338		7.63					
	C		15 φ 12.6	1875			1.16		45	169.6	12.452		9.24					
PHCts 600 175	A	7～15	16 φ 9.0	1024	5 19.63	233.54	0.47	486	47	237.9	20.966	607	3.85	5869	7126	4347	5279	10272
	AB		16 φ 10.7	1440			0.62		46	239.7	21.132		5.30					
	B		16 φ 12.6	2000			0.86		45	242.1	21.356		7.11					
	C		20 φ 12.6	2500			1.07		45	244.2	21.556		8.63					

备注:1. 管桩混凝土强度等级为 C105, f_c=46.3 N/mm²;预应力钢筋抗拉强度设计值 f_{py}=1000 N/mm²;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值 f_{yv}=320 N/mm²

2. 桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3. 混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4. 预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A-A_a/A_a)$

5. 桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6. 填芯混凝土强度等级 C30

表 A.0.4-3　PHCts 桩桩身配筋和力学性能表（续表）

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等直径实心圆截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} (mm)	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ=1%	ρ=1.5%
PHCts 400 110	A	65	56	73	357	340	252	187	201	145	159	277	128	166	66	93
	AB	78	87	114	560	544	260	209	223	147	161	346				
	B	90	118	155	771	765	269	230	244	150	164	398				
	C	103	147	194	977	995	278	248	262	154	168	384				
PHCts 500 145	A	137	131	173	684	653	411	327	346	245	264	354	183	241	132	188
	AB	157	180	239	944	918	422	356	375	248	267	411				
	B	182	242	321	1275	1275	436	389	408	251	270	466				
	C	204	292	389	1557	1594	447	413	432	257	276	452				
PHCts 600 175	A	230	213	283	915	870	590	452	479	339	366	356	245	330	233	332
	AB	263	294	391	1269	1224	605	492	519	343	370	414				
	B	304	396	527	1718	1700	624	537	564	348	375	471				
	C	340	481	641	2103	2125	640	571	598	355	382	457				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C105,f_c=46.3 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值f_{py}=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4.预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A-A_a/\ A_a\ )$

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等直径实心圆截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；D=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm，混凝土取 C30；

8.等直径实心圆截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2，混凝土取 C30。

A.0.4-4 薄壁预应力高强混凝土（PHCtn）管桩桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-4。

表 A.0.4-4 PHCtn 桩桩身配筋和力学性能表

代号 外径 D 壁厚 t (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	管桩横截面积 A mm2x10^3	配筋率 (%)	预应力钢棒分布直径 d_p (mm)	保护层厚度 mm	管桩截面换算面积 A_0 mm^2x10^3	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHCtn 300 55	A	≤9	5ϕ7.1	200	4 12.57	42.3	0.47	240	22	43.16	2.264	110	4.11	1063	1291	787	956	1443
PHCtn 400 65	A	≤10	6ϕ7.1	240	4 12.57	68.7	0.35	330	27	69.40	5.046	178	3.11	1718	2086	1272	1545	2332
	AB	10-12	6ϕ9.0	384			0.56		26	70.01	5.088		4.84					
PHCtn 500 65	A	＜10	8ϕ7.1	320	4 12.57	88.78	0.36	430	27	90.15	8.714	230	3.19	2231	2709	1652	2006	3028
	AB	10-14	8ϕ9.0	512			0.58		26	90.97	8.790		4.96					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80,fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4.预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A\text{-}A_a/A_a)$

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.本桩型箍筋加密区长度 500mm；箍筋加密区间距 50±5mm；非加密区间距 150±5mm

表 A.0.4-4　PHCtn 桩桩身配筋和力学性能表（续表）

代 号 外径 D 壁厚 t (mm)	型 号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等直径实心圆截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHCtn 300 55	A	23	24	35	177	170	90	80	95	62	77	278	64	85	28	39
PHCtn 400 65	A	46	40	59	216	204	143	133	164	110	141	279	128	166	66	93
	AB	55	62	91	339	326	148	146	177	111	142	349				
PHCtn 500 65	A	79	69	103	288	272	186	171	230	140	199	279	183	241	132	188
	AB	96	108	157	451	435	193	187	246	142	201	348				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80,fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000 N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.混凝土有效预压应力计算值按《先张法预应力混凝土管桩》（GB13476）附录计算

4.预应力钢筋的有效拉应力 $=\sigma_{ce}(A\text{-}A_a/A_a)$

5.桩身受弯承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）附录计算

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.本桩型箍筋加密区长度 500mm；箍筋加密区间距 50±5mm；非加密区间距 150±5mm

8.等直径实心圆截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；D=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm，混凝土取 C30；

9.等直径实心圆截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2，混凝土取 C30。

A.0.4-5 预应力混凝土方箱形截面桩（PHS）桩身配筋和力学性能见表 A.0.4.5。

表 A.0.4-5 PHS 桩桩身配筋和力学性能表（1）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	方桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布边长 B_p (mm)	保护层厚度 mm	方桩截面换算面积 A_0 mm^2x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHS 300 160	A	7~10	8Φ7.1	320	4 12.57	69.9	0.46	230	27	71.3	4.376	179	3.84	1756	2133	1301	1580	2384
	AB		8Φ9.0	512			0.73		26	72.1	4.430		5.96					
	B		8Φ10.7	720			1.03		25	73.0	4.489		8.12					
PHS 350 170	A	7~11	8Φ9.0	512	4 12.57	99.8	0.51	257	38	102.0	7.066	250	4.28	2508	3045	1858	2256	3404
	AB		8Φ10.7	720			0.72		37	102.9	7.129		5.88					
	B		8Φ12.6	1000			1.00		36	104.1	7.214		7.92					
PHS 400 220	A	7~12	8Φ9.0	512	4 12.57	122.0	0.42	307	38	124.2	10.285	305	3.55	3066	3722	2271	2757	4160
	AB		8Φ10.7	720			0.59		37	125.1	10.363		4.90					
	B		8Φ12.6	1000			0.82		36	126.3	10.469		6.64					
PHS 450 260	A	7~13	12Φ9.0	768	4 12.57	149.4	0.51	357	38	152.7	14.517	374	4.30	3755	4559	2781	3377	5096
	AB		12Φ10.7	1080			0.72		37	154.0	14.650		5.91					
	B		12Φ12.6	1500			1.00		36	155.8	14.828		7.97					
PHS 500 310	A	7~13	12Φ9.0	768	5 19.63	174.6	0.44	407	37	177.8	19.402	436	3.72	4386	5326	3249	3945	5952
	AB		12Φ10.7	1080			0.62		36	179.1	19.557		5.13					
	B		12Φ12.6	1500			0.86		35	180.9	19.766		6.94					

表 A.0.4-5　PHS 桩桩身配筋和力学性能表（1）（续表）

代　号 边长 B 内径 D (mm)	型 号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm²)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm²)	方桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布边长 B_p (mm)	保护层厚度 mm	方桩截面换算面积 A_0 mm²x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm³x10⁶)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm²	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤ （KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHS 550 310	A	7~14	16Φ9.0	1024	5 19.63	227.1	0.45	457	37	231.4	26.651	568	3.81	5705	6928	4226	5132	7743
	AB		16Φ10.7	1440			0.63		36	233.2	26.882		5.25					
	B		16Φ12.6	2000			0.88		35	235.6	27.194		7.10					
PHS 600 360	A	7~15	20Φ9.0	1280	5 19.63	258.3	0.50	507	37	263.7	34.047	646	4.16	6489	7879	4807	5837	8806
	AB		20Φ10.7	1800			0.70		36	265.9	34.370		5.73					
	B		20Φ12.6	2500			0.97		35	268.9	34.805		7.73					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm²;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000N/mm2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值fyV=320 N/mm2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

4.桩身轴心受压承载力特征值 RVK=桩身轴心受压承载力设计值 Rp/1.35

5.单节允许长度最大值为两端勾吊法起吊控制值

表 A.0.4-5　PHS 桩桩身配筋和力学性能表（2）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等边长实心方截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	填芯部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHS 300 160	A	17	38	49	274	272	93	76	87	65	76	267	85	135	23	41
	AB	26	60	79	430	435	100	84	95	66	77	327				
	B	36	86	123	593	612	109	92	103	66	77	376				
PHS 350 170	A	30	70	92	436	435	131	107	119	88	101	336	115	184	40	53
	AB	42	99	129	605	612	140	115	128	89	101	390				
	B	57	138	197	825	850	151	126	139	90	102	444				
PHS 400 220	A	37	80	106	441	435	149	121	142	102	123	341	149	239	64	83
	AB	51	113	148	613	612	158	130	150	103	124	397				
	B	69	166	206	838	850	169	141	162	104	124	455				
PHS 450 260	A	62	136	173	657	653	185	150	179	127	156	337	187	301	98	123
	AB	87	192	243	911	918	197	163	192	129	158	391				
	B	118	274	392	1242	1275	214	180	209	131	160	446				
PHS 500 310	A	72	152	193	661	653	224	186	227	162	204	341	230	370	140	176
	AB	100	214	271	919	918	237	199	240	164	205	397				
	B	137	297	376	1255	1275	254	215	257	166	208	454				

表 A.0.4-5　PHS 桩桩身配筋和力学性能表（2）（续表）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等边长实心方截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	填芯部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHS 550 310	A	101	224	278	881	870	295	241	283	210	252	340	277	447	159	239
	AB	141	315	391	1223	1224	312	259	300	213	254	396				
	B	193	459	542	1672	1700	335	281	322	216	257	453				
PHS 600 360	A	142	306	378	1098	1088	331	272	328	233	289	339	328	530	212	267
	AB	197	430	531	1523	1530	352	293	349	236	292	393				
	B	269	721	736	2078	2125	380	321	376	240	296	448				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

3.桩身填芯受剪承载力设计值=桩身受剪承载力设计值+填芯混凝土抗剪承载力设计值，按 C30 混凝土填芯计算

4.按标准组合计算的开裂弯矩为裂缝控制等级一级时数值

5.等边长实心方桩混凝土强度等级为 C40

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等边长实心方桩截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ =3；B=300mm 时，箍筋采用φ6，其它采用φ8；箍筋间距 S=200mm；

8..等边长实心方桩截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/㎡。

A.0.4-6 厚壁式高强预应力混凝土方箱形截面桩（PHStk）桩身配筋和力学性能见表 A.0.4.6。

表 A.0.4-6 PHStk 桩桩身配筋和力学性能表（1）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	方桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布边长 B_p (mm)	保护层厚度 mm	方桩截面换算面积 A_0 mm^2x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHStk 350 160	A	7~11	8Φ9.0	512	4 12.57	102.4	0.50	248	42	104.6	7.106	266	4.17	2573	3125	1906	2314	3492
	AB		8Φ10.7	720			0.70		41	105.5	7.165		5.74					
	B		8Φ12.6	1000			0.98		40	106.7	7.244		7.74					
PHStk 400 195	A	7~11	8Φ9.0	512	4 12.57	130.2	0.39	288	47	132.3	10.482	339	3.34	3270	3971	2422	2942	4438
	AB		8Φ10.7	720			0.55		46	133.2	10.551		4.61					
	B		8Φ12.6	1000			0.77		45	134.4	10.644		6.26					
PHStk 450 220	A	7~12	12Φ9.0	768	4 12.57	164.5	0.47	338	47	167.8	14.969	428	3.93	4134	5019	3062	3718	5610
	AB		12Φ10.7	1080			0.66		46	169.1	15.088		5.41					
	B		12Φ12.6	1500			0.91		45	170.9	15.248		7.31					
PHStk 500 240	A	7~12	12Φ9.0	768	5 19.63	204.8	0.38	386	47	208.0	20.525	533	3.19	5146	6248	3812	4628	6983
	AB		12Φ10.7	1080			0.53		46	209.4	20.665		4.42					
	B		12Φ12.6	1500			0.73		45	211.2	20.853		6.00					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值fpy=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

4.桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}=桩身轴心受压承载力设计值 R_p/1.35

5.单节允许长度最大值为两端勾吊法起吊控制值

表 A.0.6-6　PHStk 桩桩身配筋和力学性能表（2）

代　号 边长 B 内径 D (mm)	型 号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等边长实心方截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	填芯部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHStk350 160	A	30	70	91	437	435	134	109	120	90	101	337	115	184	40	53
	AB	41	105	129	605	612	143	117	128	91	102	391				
	B	56	137	195	826	850	154	128	139	92	103	445				
PHStk400 195	A	35	80	105	442	435	159	128	144	109	125	342	149	239	64	83
	AB	49	112	147	614	612	168	137	153	110	126	399				
	B	67	165	204	841	850	179	148	164	111	127	458				
PHStk450 220	A	59	135	172	659	653	206	165	186	142	163	339	187	301	98	123
	AB	82	190	242	915	918	218	178	199	144	165	394				
	B	111	271	387	1249	1275	235	195	215	146	167	451				
PHStk500 240	A	66	151	192	664	653	268	217	241	193	218	344	230	370	140	176
	AB	91	212	270	924	918	281	230	254	195	220	401				
	B	125	295	374	1266	1275	298	247	272	197	222	461				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值fpy=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

3.桩身填芯受剪承载力设计值=桩身受剪承载力设计值+填芯混凝土抗剪承载力设计值，按 C30 混凝土填芯计算

4.按标准组合计算的开裂弯矩为裂缝控制等级一级时数值

5.等边长实心方桩混凝土强度等级为 C40

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等边长实心方桩截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；B=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm；

8..等边长实心方桩截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2。

A.0.4-7 厚壁式超高强预应力混凝土方箱形截面桩（PHSts）桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-7。

表 A.0.4-7 PHSts 桩桩身配筋和力学性能表（1）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	方桩横截面积 A mm2x10³	配筋率 (%)	预应力钢棒分布边长 B_p (mm)	保护层厚度 mm	方桩截面换算面积 A_0 mm^2x10³	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHSts 350 160	A	7~12	8Φ9.0	512	4 12.57	102.4	0.50	248	42	104.5	7.099	266	4.22	3319	4030	2458	2985	4504
	AB		8Φ10.7	720			0.70		41	105.3	7.155		5.83					
	B		8Φ12.6	1000			0.98		40	106.5	7.230		7.90					
PHSts 400 195	A	7~12	8Φ9.0	512	4 12.57	130.2	0.39	288	47	132.2	10.474	339	3.37	4218	5121	3124	3794	5724
	AB		8Φ10.7	720			0.55		46	133.1	10.540		4.67					
	B		8Φ12.6	1000			0.77		45	134.2	10.628		6.36					
PHSts 450 220	A	7~13	12Φ9.0	768	4 12.57	164.5	0.47	338	47	167.6	14.955	428	3.97	5331	6473	3949	4795	7235
	AB		12Φ10.7	1080			0.66		46	168.9	15.069		5.49					
	B		12Φ12.6	1500			0.91		45	170.6	15.221		7.45					
PHSts 500 240	A	7~13	12Φ9.0	768	5 19.63	204.8	0.38	386	47	207.9	20.509	533	3.22	6636	8058	4916	5969	9006
	AB		12Φ10.7	1080			0.53		46	209.1	20.642		4.47					
	B		12Φ12.6	1500			0.73		45	210.9	20.821		6.09					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C105，f_c=46.3 N/mm²;预应力钢筋抗拉强度设计值f_{py}=1000N/mm²;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm²

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

4.桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}=桩身轴心受压承载力设计值 R_p/1.35

5.单节允许长度最大值为两端勾吊法起吊控制值

`

表 A.0.4-7　PHSts 桩桩身配筋和力学性能表（2）

代　号 边长 B 内径 D (mm)	型 号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等边长实心方截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	填芯部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHSts 350 160	A	30	72	94	441	435	153	122	133	104	115	282	115	184	40	53
	AB	42	107	131	614	612	161	131	142	105	116	329				
	B	57	142	201	841	850	173	142	153	106	117	377				
PHSts 400 195	A	35	82	107	445	435	182	144	161	126	142	286	149	239	64	83
	AB	49	115	151	621	612	191	153	170	127	143	335				
	B	68	169	239	853	850	203	165	181	128	144	386				
PHSts 450 220	A	59	138	177	665	653	235	186	207	165	186	284	187	301	98	123
	AB	83	195	248	926	918	248	199	220	167	188	332				
	B	113	280	397	1271	1275	265	217	237	170	191	381				
PHSts 500 240	A	66	154	197	669	653	305	243	268	222	246	287	230	370	140	176
	AB	92	217	277	934	918	318	257	281	224	249	336				
	B	127	301	384	1284	1275	336	274	299	227	251	388				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C105，fc=46.3 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

3.桩身填芯受剪承载力设计值=桩身受剪承载力设计值+填芯混凝土抗剪承载力设计值，按 C30 混凝土填芯计算

4.按标准组合计算的开裂弯矩为裂缝控制等级一级时数值

5.等边长实心方桩混凝土强度等级为 C40

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等边长实心方桩截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；B=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm；

8..等边长实心方桩截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2。

A.0.4-8 高强混凝土薄壁空心方箱形截面桩（PHStn）桩身配筋和力学性能见表 A.0.4-8。

表 A.0.4-8 PHStn 桩桩身配筋和力学性能表（1）

代号 边长 B 内径 D (mm)	型号	桩身配筋构造												桩身轴心抗压力学性能				
		单节允许长度 L (m)	预应力钢棒直径与数量 (mm)	预应力钢棒面积 A_a (mm^2)	螺旋箍筋直径和面积 (mm) (mm^2)	方桩横截面积 A mm2x10^3	配筋率 (%)	预应力钢棒分布边长 B_p (mm)	保护层厚度 mm	方桩截面换算面积 A_0 mm^2x10^3	换算截面抵抗矩 W_o (mm^3x10^6)	理论重量 kg/m	混凝土有效预压应力 σ_{ce} N/mm^2	桩身轴心受压承载力设计值 R_p≤ (kN)		桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}≤ (kN)		桩身抱压允许压桩力 p_{jmax}≤（KN）
														抱压式或锤击式	植入法施工	抱压式或锤击式	植入法施工	
PHStn300 170	A	7~9	4Φ7.1	160	4 12.57	67.3	0.24	230	27	68.0	4.287	175	2.04	1691	2054	1253	1521	2295
	AB		4Φ9.0	256			0.38		26	68.4	4.323		3.22					

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.桩身轴心受压承载力设计值未考虑压屈影响

3.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

4.桩身轴心受压承载力特征值 R_{VK}=桩身轴心受压承载力设计值 R_p/1.35

5.单节允许长度最大值为两端勾吊法起吊控制值

表 A.0.4-8　PHStn 桩桩身配筋和力学性能表（2）

代　号 边长 B 内径 D (mm)	型 号	桩身抗弯力学性能			桩身抗拉力学性能		桩身抗剪力学性能						等边长实心方截面桩身力学性能			
		按标准组合计算的开裂弯矩 M_k≤ (kN.m)	桩身受弯承载力设计值 R_m≤ (kN.m)	桩身受弯承载力极限值 Mu≤ (kN.m)	按标准组合计算的开裂拉力 R_{ta} ≤ (kN)	桩身轴心受拉承载力设计值 Q_t≤ (kN)	按标准组合计算的开裂剪力 R_V≤ (kN)	桩身受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	桩身填芯受剪承载力设计值 R_V≤ (kN)	截桩部位受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	填芯部位填芯斜截面受剪承载力设计值 R_V ≤ (kN)	截桩后桩端预应力传递长度 L_{tr} （mm）	桩身受剪承载力设计值 [V]≤ (kN)		桩身受弯承载力设计值 M≤ (kN.m)	
													N=0	N=0.3fcA	ρ =1%	ρ =1.5%
PHStn300 170	A	9	18	26	139	136	82	67	79	61	73	274	85	135	23	41
	AB	14	30	42	220	218	86	71	83	61	74	342				

备注:1.管桩混凝土强度等级为 C80，fc=35.6 N/mm^2;预应力钢筋抗拉强度设计值$f$py=1000N/mm^2;箍筋采用乙级冷拔低碳钢丝，抗剪计算时强度设计值f_{yv}=320 N/mm^2

2.预应力损失及混凝土有效预压应力计算值按《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197）有关条文计算

3.桩身填芯受剪承载力设计值=桩身受剪承载力设计值+填芯混凝土抗剪承载力设计值，按 C30 混凝土填芯计算

4.按标准组合计算的开裂弯矩为裂缝控制等级一级时数值

5.等边长实心方桩混凝土强度等级为 C40

6.填芯混凝土强度等级 C30

7.等边长实心方桩截面受剪承载力设计值按《混凝土结构设计规范》（GB50010）计算，λ=3；B=300mm 时，箍筋采用Φ6，其它采用Φ8；箍筋间距 S=200mm；

8..等边长实心方桩截面桩身受弯承载力设计值按全截面配筋率均匀配筋计算，钢筋抗拉强度设计值 f_y=360N/m^2。

附录 B　按桩顶水平位移控制的单桩水平承载力特征值计算表

B.0.1　当桩的水平承载力由水平位移控制时，PHC 管桩可按表 B.0.1 估算单桩水平承载力特征值。

表 B.0.1　PHC 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHC-300-AB-70					PHC-400 -AB-95				
2	0.676	铰接自由	4.0	11.510	2	0.552	铰接自由	4.0	19.941
			3.0	10.303				3.0	17.850
			2.4	7.968				2.4	13.805
		固接	4.0	29.890			固接	4.0	51.783
			3.0	27.331				3.0	47.350
			2.4	25.659				2.4	44.453
4	0.776	铰接自由	4.0	17.446	4	0.634	铰接自由	4.0	30.225
			3.0	15.617				3.0	27.055
			2.4	12.078				2.4	20.924
		固接	4.0	45.304			固接	4.0	78.488
			3.0	41.426				3.0	71.769
			2.4	38.892				2.4	67.378
6	0.842	铰接自由	4.0	22.251	6	0.688	铰接自由	4.0	38.550
			3.0	19.918				3.0	34.506
			2.4	15.404				2.4	26.687
		固接	4.0	57.782			固接	4.0	100.106
			3.0	52.836				3.0	91.537
			2.4	49.603				2.4	85.936
10	0.932	铰接自由	4.0	30.232	10	0.762	铰接自由	4.0	52.376
			3.0	27.061				3.0	46.882
			2.4	20.929				2.4	36.259
		固接	4.0	78.506			固接	4.0	136.009
			3.0	71.786				3.0	124.367
			2.4	67.394				2.4	116.757
15	1.011	铰接自由	4.0	38.558	15	0.826	铰接自由	4.0	66.801
			3.0	34.515				3.0	59.795
			2.4	26.693				2.4	46.245
		固接	4.0	100.129			固接	4.0	173.470
			3.0	91.558				3.0	158.620
			2.4	85.955				2.4	148.915
20	1.071	铰接自由	4.0	45.823	20	0.875	铰接自由	4.0	79.387
			3.0	41.017				3.0	71.061
			2.4	31.723				2.4	54.958
		固接	4.0	118.993*			固接	4.0	206.152*
			3.0	108.807*				3.0	188.504*
			2.4	102.150				2.4	176.970*
25	1.120	铰接自由	4.0	52.398	25	0.915	铰接自由	4.0	90.778

			3.0	46.903				3.0	81.257
			2.4	36.274				2.4	62.844
		固　接	4.0	136.068*			固　接	4.0	235.732*
			3.0	124.420*				3.0	215.553*
			2.4	116.807*				2.4	202.364*
30	1.161	铰　接 自　由	4.0	58.455	30	0.949	铰　接 自　由	4.0	101.272
			3.0	52.325				3.0	90.650
			2.4	40.468				2.4	70.109
		固　接	4.0	151.797*			固　接	4.0	262.983*
			3.0	138.803*				3.0	240.471*
			2.4	130.310*				2.4	225.757*
35	1.197	铰　接 自　由	4.0	64.120	35	0.979	铰　接 自　由	4.0	111.085
			3.0	57.395				3.0	99.435
			2.4	44.389				2.4	76.903
		固　接	4.0	166.507*			固　接	4.0	288.466*
			3.0	152.253*				3.0	263.773*
			2.4	142.937*				2.4	247.633*
40	1.230	铰　接 自　由	4.0	69.468	40	1.005	铰　接 自　由	4.0	120.351
			3.0	62.183				3.0	107.729
			2.4	48.092				2.4	83.317
		固　接	4.0	180.396*			固　接	4.0	312.529*
			3.0	164.953*				3.0	285.776*
			2.4	154.860*				2.4	268.290*
45	1.259	铰　接 自　由	4.0	74.555	45	1.029	铰　接 自　由	4.0	129.164
			3.0	66.736				3.0	115.618
			2.4	51.614				2.4	89.419
		固　接	4.0	193.606*			固　接	4.0	335.415*
			3.0	177.032*				3.0	306.702*
			2.4	166.200*				2.4	287.936*

备注：1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

表 B.0.1 （续表） PHC 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深 (αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深 (αh)	R_{ha} (kN)
PHC-500-AB-100					PHC-500 -AB-125				
2	0.479	铰　接 自　由	4.0	30.102	2	0.472	铰　接 自　由	4.0	31.014
			3.0	26.945				3.0	27.762
			2.4	20.839				2.4	21.471
		固`　接	4.0	78.169			固　接	4.0	80.539
			3.0	71.477				3.0	73.644
			2.4	67.104				2.4	69.138
4	0.550	铰　接 自　由	4.0	45.626	4	0.542	铰　接 自　由	4.0	47.009
			3.0	40.841				3.0	42.079

			2.4	31.586				2.4	32.544
		固　接	4.0	118.482			固　接	4.0	122.074
			3.0	108.339				3.0	111.624
			2.4	101.710				2.4	104.794
6	0.597	铰　接 自　由	4.0	58.192	6	0.588	铰　接 自　由	4.0	59.957
			3.0	52.089				3.0	53.669
			2.4	40.286				2.4	41.507
		固　接	4.0	151.115			固　接	4.0	155.696
			3.0	138.179				3.0	142.368
			2.4	129.724				2.4	133.657
10	0.661	铰　接 自　由	4.0	79.063	10	0.651	铰　接 自　由	4.0	81.460
			3.0	70.771				3.0	72.917
			2.4	54.734				2.4	56.394
		固　接	4.0	205.312			固　接	4.0	211.537
			3.0	187.737				3.0	193.429
			2.4	176.250				2.4	181.593
15	0.717	铰　接 自　由	4.0	100.839	15	0.706	铰　接 自　由	4.0	103.897
			3.0	90.264				3.0	93.000
			2.4	69.810				2.4	71.926
		固　接	4.0	261.860			固　接	4.0	269.800
			3.0	239.444				3.0	246.704
			2.4	224.793				2.4	231.609
20	0.760	铰　接 自　由	4.0	119.838	20	0.748	铰　接 自　由	4.0	123.471
			3.0	107.269				3.0	110.522
			2.4	82.962				2.4	85.477
		固　接	4.0	311.195*			固　接	4.0	320.630*
			3.0	284.556*				3.0	293.183
			2.4	267.145*				2.4	275.244
25	0.794	铰　接 自　由	4.0	137.033	25	0.782	铰　接 自　由	4.0	141.187
			3.0	122.661				3.0	126.380
			2.4	94.866				2.4	97.742
		固　接	4.0	355.848*			固　接	4.0	366.637*
			3.0	325.386*				3.0	335.251*
			2.4	305.477*				2.4	314.738*
30	0.824	铰　接 自　由	4.0	152.874	30	0.811	铰　接 自　由	4.0	157.509
			3.0	136.841				3.0	140.990
			2.4	105.832				2.4	109.041
		固　接	4.0	396.984*			固　接	4.0	409.020*
			3.0	363.001*				3.0	374.007*
			2.4	340.790*				2.4	351.122*
35	0.849	铰　接 自　由	4.0	167.688	35	0.837	铰　接 自　由	4.0	172.772
			3.0	150.101				3.0	154.652
			2.4	116.088				2.4	119.607
		固　接	4.0	435.453*			固　接	4.0	448.655*
			3.0	398.177*				3.0	410.249*
			2.4	373.814*				2.4	385.147*
40	0.872	铰　接 自　由	4.0	181.676	40	0.859	铰　接 自　由	4.0	187.184
			3.0	162.622				3.0	167.552

			2.4	125.771				2.4	129.585
		固　接	4.0	471.777*			固　接	4.0	486.080*
			3.0	431.391*				3.0	444.470*
			2.4	404.996*				2.4	417.274*
45	0.893	铰　接 自　由	4.0	194.979	45	0.880	铰　接 自　由	4.0	200.890
			3.0	174.530				3.0	179.822
			2.4	134.981				2.4	139.074
		固　接	4.0	506.323*			固　接	4.0	521.674*
			3.0	462.981*				3.0	477.017*
			2.4	434.652*				2.4	447.830*

备注: 1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。
2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

表 B.0.1 （续表） PHC 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (l/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHC-600-AB-110					PHC-600 -AB-130				
2	0.427	铰　接 自　由	4.0	42.500	2	0.421	铰　接 自　由	4.0	43.685
			3.0	38.043				3.0	39.104
			2.4	29.422				2.4	30.243
		固　接	4.0	110.365			固　接	4.0	113.443
			3.0	100.918				3.0	103.732
			2.4	94.743				2.4	97.384
4	0.490	铰　接 自　由	4.0	64.419	4	0.484	铰　接 自　由	4.0	66.215
			3.0	57.663				3.0	59.270
			2.4	44.596				2.4	45.839
		固　接	4.0	167.283			固　接	4.0	171.947
			3.0	152.963				3.0	157.228
			2.4	143.603				2.4	147.607
6	0.532	铰　接 自　由	4.0	82.161	6	0.524	铰　接 自　由	4.0	84.452
			3.0	73.544				3.0	75.595
			2.4	56.879				2.4	58.465
		固　接	4.0	213.357			固　接	4.0	219.305
			3.0	195.093				3.0	200.532
			2.4	183.155				2.4	188.262
10	0.589	铰　接 自　由	4.0	111.629	10	0.581	铰　接 自　由	4.0	114.741
			3.0	99.921				3.0	102.707
			2.4	77.279				2.4	79.433
		固　接	4.0	289.878			固　接	4.0	297.960
			3.0	265.064				3.0	272.454
			2.4	248.845				2.4	255.783
15	0.639	铰　接 自　由	4.0	142.374	15	0.630	铰　接 自　由	4.0	146.343
			3.0	127.442				3.0	130.995
			2.4	98.563				2.4	101.311
		固　接	4.0	369.717			固　接	4.0	380.025
			3.0	338.069				3.0	347.494

			2.4	317.383				2.4	326.232
20	0.676	铰接自由	4.0	169.197	20	0.667	铰接自由	4.0	173.915
			3.0	151.452				3.0	155.675
			2.4	117.133				2.4	120.399
		固接	4.0	439.373*			固接	4.0	451.623*
			3.0	401.761*				3.0	412.963*
			2.4	377.189*				2.4	387.695*
25	0.490	铰接自由	4.0	193.475	25	0.698	铰接自由	4.0	198.869
			3.0	173.184				3.0	178.012
			2.4	133.940				2.4	137.674
		固接	4.0	502.417*			固接	4.0	516.425*
			3.0	459.409*				3.0	472.217*
			2.4	431.299*				2.4	443.324*
30	0.532	铰接自由	4.0	215.841	30	0.724	铰接自由	4.0	221.858
			3.0	193.204				3.0	198.591
			2.4	149.423				2.4	153.589
		固接	4.0	560.497*			固接	4.0	576.124*
			3.0	512.517*				3.0	526.806*
			2.4	481.157*				2.4	494.572*
35	0.589	铰接自由	4.0	236.756	35	0.746	铰接自由	4.0	243.357
			3.0	211.926				3.0	217.834
			2.4	163.903				2.4	168.473
		固接	4.0	614.811*			固接	4.0	631.952*
			3.0	562.181*				3.0	577.855*
			2.4	527.783*				2.4	542.497*
40	0.639	铰接自由	4.0	256.505	40	0.766	铰接自由	4.0	263.657
			3.0	229.604				3.0	236.005
			2.4	177.575				2.4	182.526
		固接	4.0	666.096*			固接	4.0	684.667*
			3.0	609.076*				3.0	626.057*
			2.4	571.808*				2.4	587.750*
45	0.676	铰接自由	4.0	275.289	45	0.785	铰接自由	4.0	282.964
			3.0	246.417				3.0	253.287
			2.4	190.578				2.4	195.892
		固接	4.0	714.872*			固接	4.0	734.802*
			3.0	653.676*				3.0	671.901*
			2.4	613.680*				2.4	630.789*

备注： 1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

B.0.2 当桩的水平承载力由水平位移控制时，PHS 管桩可按表 B.0.2 估算单桩水平承载力特征值。

表 B.0.2 PHS 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHS-300-AB-160					TPHS-350-AB-170				
2	0.603	铰接自由	4.0	14.453	2	0.540	铰接自由	4.0	19.462
			3.0	12.937				3.0	17.421
			2.4	10.006				2.4	13.473
		固接	4.0	37.532			固接	4.0	50.540
			3.0	34.319				3.0	46.213
			2.4	32.219				2.4	43.386
4	0.693	铰接自由	4.0	21.907	4	0.620	铰接自由	4.0	29.499
			3.0	19.609				3.0	26.405
			2.4	15.166				2.4	20.422
		固接	4.0	56.888			固接	4.0	76.604
			3.0	52.018				3.0	70.046
			2.4	48.836				2.4	65.761
6	0.751	铰接自由	4.0	27.941	6	0.673	铰接自由	4.0	37.624
			3.0	25.010				3.0	33.678
			2.4	19.343				2.4	26.047
		固接	4.0	72.557			固接	4.0	97.703
			3.0	66.346				3.0	89.339
			2.4	62.286				2.4	83.873
10	0.832	铰接自由	4.0	37.962	10	0.745	铰接自由	4.0	51.118
			3.0	33.980				3.0	45.757
			2.4	26.280				2.4	35.388
		固接	4.0	98.580*			固接	4.0	132.744*
			3.0	90.141*				3.0	121.381*
			2.4	84.625*				2.4	113.954
15	0.902	铰接自由	4.0	48.417	15	0.808	铰接自由	4.0	65.197
			3.0	43.340				3.0	58.360
			2.4	33.519				2.4	45.135
		固接	4.0	125.731*			固接	4.0	169.305*
			3.0	114.968*				3.0	154.812*
			2.4	107.933*				2.4	145.340*
20	0.956	铰接自由	4.0	57.539	20	0.855	铰接自由	4.0	77.481
			3.0	51.505				3.0	69.355
			2.4	39.834				2.4	53.639
		固接	4.0	149.419*			固接	4.0	201.203*
			3.0	136.628*				3.0	183.979*

			2.4	128.268*				2.4	172.722*
25	0.999	铰 接 自 由	4.0	65.783	25	0.894	铰 接 自 由	4.0	88.581
			3.0	58.883				3.0	79.291
			2.4	45.540				2.4	61.323
		固 接	4.0	170.825*			固 接	4.0	230.027*
			3.0	156.202*				3.0	210.336*
			2.4	146.644*				2.4	197.466*
30	1.036	铰 接 自 由	4.0	73.387	30	0.928	铰 接 自 由	4.0	98.821
			3.0	65.690				3.0	88.457
			2.4	50.805				2.4	68.412
		固 接	4.0	190.572*			固 接	4.0	256.619*
			3.0	174.259*				3.0	234.651*
			2.4	163.596*				2.4	220.294*
35	0.957	铰 接 自 由	4.0	80.498	35	0.957	铰 接 自 由	4.0	108.397
			3.0	72.056				3.0	97.028
			2.4	55.728				2.4	75.042
		固 接	4.0	209.039*			固 接	4.0	281.486*
			3.0	191.145*				3.0	257.390*
			2.4	179.449*				2.4	241.641*
40	0.983	铰 接 自 由	4.0	87.213*	40	0.983	铰 接 自 由	4.0	117.439*
			3.0	78.067				3.0	105.122
			2.4	60.377				2.4	81.301
		固 接	4.0	226.476*			固 接	4.0	304.966*
			3.0	207.089*				3.0	278.860*
			2.4	194.418*				2.4	261.797*
45	1.006	铰 接 自 由	4.0	93.600*	45	1.007	铰 接 自 由	4.0	126.038*
			3.0	83.783				3.0	112.820
			2.4	64.798				2.4	87.255
		固 接	4.0	243.061*			固 接	4.0	327.298*
			3.0	222.254*				3.0	299.280*
			2.4	208.655*				2.4	280.968*

备注： 1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

表 B.0.2 （续表） PHS 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHS-400-AB-220					PHS-450-AB-260				
2	0.495	铰 接 自 由	4.0	24.876	2	0.457	铰 接 自 由	4.0	31.157
			3.0	22.267				3.0	27.890
			2.4	17.221				2.4	21.570
		固 接	4.0	64.598			固 接	4.0	80.909
			3.0	59.068				3.0	73.983

			2.4	55.454				2.4	69.456
4	0.568	铰接自由	4.0	37.705	4	0.525	铰接自由	4.0	47.225
			3.0	33.750				3.0	42.273
			2.4	26.102				2.4	32.694
		固接	4.0	97.912			固接	4.0	122.635
			3.0	89.531				3.0	112.137
			2.4	84.052				2.4	105.276
6	0.616	铰接自由	4.0	48.090	6	0.569	铰接自由	4.0	60.233
			3.0	43.046				3.0	53.915
			2.4	33.292				2.4	41.698
		固接	4.0	124.880			固接	4.0	156.412
			3.0	114.189				3.0	143.023
			2.4	107.203				2.4	134.272
10	0.682	铰接自由	4.0	65.337	10	0.630	铰接自由	4.0	81.835
			3.0	58.485				3.0	73.253
			2.4	45.232				2.4	56.653
		固接	4.0	169.668*			固接	4.0	212.510*
			3.0	155.144*				3.0	194.319*
			2.4	145.651*				2.4	182.429*
15	0.740	铰接自由	4.0	83.333	15	0.683	铰接自由	4.0	104.375
			3.0	74.593				3.0	93.428
			2.4	57.690				2.4	72.257
		固接	4.0	216.399*			固接	4.0	271.041*
			3.0	197.875*				3.0	247.839*
			2.4	185.767*				2.4	232.674*
20	0.784	铰接自由	4.0	99.033	20	0.724	铰接自由	4.0	124.039
			3.0	88.646				3.0	111.030
			2.4	68.559				2.4	85.870
		固接	4.0	257.169*			固接	4.0	322.105*
			3.0	235.154*				3.0	294.532*
			2.4	220.766*				2.4	276.511*
25	0.820	铰接自由	4.0	113.220	25	0.757	铰接自由	4.0	141.809
			3.0	101.346				3.0	126.937
			2.4	78.381				2.4	98.172
		固接	4.0	294.012*			固接	4.0	368.251*
			3.0	268.843*				3.0	336.728*
			2.4	252.394*				2.4	316.124*
30	0.850	铰接自由	4.0	126.309	30	0.785	铰接自由	4.0	158.202
			3.0	113.062				3.0	141.611
			2.4	87.442				2.4	109.521
		固接	4.0	328.000*			固接	4.0	410.821*
			3.0	299.922*				3.0	375.654*
			2.4	281.570*				2.4	352.668*
35	0.877	铰接	4.0	138.548*	35		铰接	4.0	162.873

		自　由	3.0	124.018		0.793	自　由	3.0	145.792
			2.4	95.915				2.4	112.755
		固　接	4.0	359.784*			固　接	4.0	422.951*
			3.0	328.985*				3.0	386.745*
			2.4	308.855*				2.4	363.081*
40	0.900	铰　接 自　由	4.0	150.106*	40	0.831	铰　接 自　由	4.0	188.008*
			3.0	134.363*				3.0	168.290*
			2.4	103.916				2.4	130.155
		固　接	4.0	389.795*			固　接	4.0	488.221*
			3.0	356.428*				3.0	446.427*
			2.4	334.619*				2.4	419.112*
45	0.922	铰　接 自　由	4.0	161.097*	45	0.851	铰　接 自　由	4.0	201.775*
			3.0	144.202*				3.0	180.614*
			2.4	111.525				2.4	139.686
		固　接	4.0	418.339*			固　接	4.0	523.971*
			3.0	382.528*				3.0	479.118*
			2.4	359.122*				2.4	449.802*

备注：　1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

表 B.0.2 （续表） PHS 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHS-500-AB-310					PHS-550-AB-310				
2	0.427	铰　接 自　由	4.0	37.860	2	0.399	铰　接 自　由	4.0	46.129
			3.0	33.889				3.0	41.291
			2.4	26.210				2.4	31.935
		固　接	4.0	98.314			固　接	4.0	119.789
			3.0	89.898				3.0	109.534
			2.4	84.397				2.4	102.832
4	0.491	铰　接 自　由	4.0	57.384	4	0.458	铰　接 自　由	4.0	69.919
			3.0	51.366				3.0	62.586
			2.4	39.726				2.4	48.404
		固　接	4.0	149.016			固　接	4.0	181.566
			3.0	136.260				3.0	166.023
			2.4	127.923				2.4	155.865
6	0.532	铰　接 自　由	4.0	73.189	6	0.497	铰　接 自　由	4.0	89.176
			3.0	65.514				3.0	79.824
			2.4	50.668				2.4	61.735
		固　接	4.0	190.059			固　接	4.0	231.573
			3.0	173.789				3.0	211.750
			2.4	163.156				2.4	198.794
10		铰　接	4.0	99.439	10		铰　接	4.0	121.160

	0.590	自　由	3.0	89.010		0.550	自　由	3.0	108.453
			2.4	68.840				2.4	83.877
		固　接	4.0	258.225*			固　接	4.0	314.628*
			3.0	236.120*				3.0	287.695*
			2.4	221.672*				2.4	270.092*
15	0.639	铰　接 自　由	4.0	126.827	15	0.596	铰　接 自　由	4.0	154.530
			3.0	113.526				3.0	138.323
			2.4	87.801				2.4	106.979
		固　接	4.0	329.346*			固　接	4.0	401.285*
			3.0	301.153*				3.0	366.933*
			2.4	282.726*				2.4	344.482*
20	0.677	铰　接 自　由	4.0	150.722	20	0.632	铰　接 自　由	4.0	183.644
			3.0	134.914				3.0	164.384
			2.4	104.343				2.4	127.134
		固　接	4.0	391.395*			固　接	4.0	476.887*
			3.0	357.891*				3.0	436.064*
			2.4	335.992*				2.4	409.383*
25	0.708	铰　接 自　由	4.0	172.314	25	0.661	铰　接 自　由	4.0	209.953
			3.0	154.243				3.0	187.934
			2.4	119.291				2.4	145.347
		固　接	4.0	447.468*			固　接	4.0	545.208*
			3.0	409.163*				3.0	498.536*
			2.4	384.128*				2.4	468.032*
30	0.734	铰　接 自　由	4.0	192.234	30	0.685	铰　接 自　由	4.0	234.224
			3.0	172.073				3.0	209.659
			2.4	133.081				2.4	162.150
		固　接	4.0	499.195*			固　接	4.0	608.234*
			3.0	456.463*				3.0	556.167*
			2.4	428.533*				2.4	522.137*
35	0.757	铰　接 自　由	4.0	210.862*	35	0.706	铰　接 自　由	4.0	256.921
			3.0	188.748				3.0	229.975
			2.4	145.977				2.4	177.862
		固　接	4.0	547.569*			固　接	4.0	667.173*
			3.0	500.695*				3.0	610.061*
			2.4	470.059*				2.4	572.733*
40	0.778	铰　接 自　由	4.0	228.451*	40	0.726	铰　接 自　由	4.0	278.352*
			3.0	204.492*				3.0	249.159
			2.4	158.154				2.4	192.699
		固　接	4.0	593.244*			固　接	4.0	722.826*
			3.0	542.461*				3.0	660.950*
			2.4	509.269*				2.4	620.508*
45	0.797	铰　接 自　由	4.0	245.180*	45	0.743	铰　接 自　由	4.0	298.735*
			3.0	219.466*				3.0	267.404*
			2.4	169.735				2.4	206.810

		固　接	4.0	636.686*			固　接	4.0	775.756*
			3.0	582.184*				3.0	709.349*
			2.4	546.561*				2.4	665.946*

备注：　1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

表 B.0.2 （续表） PHS 单桩水平承载力特征值估算表（桩顶位移 10mm 控制）

m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)	m (MN/m^4)	α (1/m)	桩顶约束情况	桩换算埋深(αh)	R_{ha} (kN)
PHS600-AB-360					PHS600-AB-360				
2	0.377	铰　接 自　由	4.0	54.347	25	0.626	铰　接 自　由	4.0	247.356
			3.0	48.647				3.0	221.414
			2.4	37.624				2.4	171.241
		固　接	4.0	141.129			固　接	4.0	642.335*
			3.0	129.048				3.0	587.349*
			2.4	121.152				2.4	551.411*
4	0.434	铰　接 自　由	4.0	82.375	30	0.649	铰　接 自　由	4.0	275.950
			3.0	73.735				3.0	247.009
			2.4	57.027				2.4	191.036
		固　接	4.0	213.911			固　接	4.0	716.589*
			3.0	195.600				3.0	655.247*
			2.4	183.632				2.4	615.154*
6	0.470	铰　接 自　由	4.0	105.063	35	0.669	铰　接 自　由	4.0	302.690*
			3.0	94.044				3.0	270.945
			2.4	72.733				2.4	209.548
		固　接	4.0	272.828			固　接	4.0	786.029*
			3.0	249.473				3.0	718.742*
			2.4	234.208				2.4	674.764*
10	0.521	铰　接 自　由	4.0	142.744	40	0.687	铰　接 自　由	4.0	327.939*
			3.0	127.773				3.0	293.546*
			2.4	98.820				2.4	227.028
		固　接	4.0	370.679*			固　接	4.0	851.596*
			3.0	338.947*				3.0	778.697*
			2.4	318.208*				2.4	731.050*
15	0.565	铰　接 自　由	4.0	182.059	45	0.704	铰　接 自　由	4.0	351.953*
			3.0	162.965				3.0	315.042*
			2.4	126.037				2.4	243.652
		固　接	4.0	472.773*			固　接	4.0	913.956*
			3.0	432.302*				3.0	835.718*
			2.4	405.851*				2.4	784.583*
20		铰　接	4.0	216.359					

	0.598	自　由	3.0	193.668					
			2.4	149.783					
		固　接	4.0	561.844*					
			3.0	513.748*					
			2.4	482.313*					

备注:　1. m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；α—桩的水平变形系数；R_{ha}—单桩水平承载力特征值。

2.带*号数值表示单桩水平承载力特征值已超过表 A.0.4 中桩身受剪承载力设计值。

附录 C　管桩的尺寸允许偏差与检验方法

C.0.1　管桩各部位的尺寸允许偏差与检验方法应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1　管桩的尺寸允许偏差与检验方法

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">项目</th><th>允许偏差值（mm）</th><th>检查工具与检查方法</th><th>测量工具分度值（mm）</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">长度 L</td><td>±0.5%L</td><td>用钢卷尺测量，精确至 1mm。</td><td>1</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">端部倾斜</td><td>≤0.5%D</td><td>将直角靠尺的一边紧靠桩身，另一边与端板紧靠，测其最大间隙处，精确至 1mm。</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">外径 D</td><td>+5
−2</td><td>用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径，取其平均值，精确至 1mm。</td><td>1</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">壁厚 t</td><td>+20
0</td><td>用钢直尺在同一断面相互垂直的两直径上测定四处壁厚，取其平均值，精确至 1mm。</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">保护层厚度</td><td>+5
0</td><td>用深度游标卡尺在管桩的中间同一圆周垂直方向的四处不同部位测量，精确至 0.1mm。</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">桩身弯曲度</td><td>≤L/1000</td><td>将拉线紧靠桩的两端部，用钢直尺测量其弯曲处的最大距离，精确至 1mm。</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="4">7</td><td rowspan="4">端板</td><td>端面平面度</td><td>0.5</td><td>将钢直尺立起横放在端板上，然后慢慢旋转 360°，用塞尺测量最大间隙，精确至 0.1mm。</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>外　径</td><td>0　−1</td><td rowspan="2">用钢卷尺在两个互相垂直的方向上进行测量，取其平均值，精确至 1mm。</td><td rowspan="2">1</td></tr>
<tr><td>内　径</td><td>0　−2</td></tr>
<tr><td>厚　度</td><td>正偏差不限
负偏差为 0</td><td>用游标卡尺在互相垂直的两直径处量测端板厚度，取其平均值，精确至 0.5mm。</td><td>0.05</td></tr>
</table>

注：表内尺寸以管桩设计图纸为基准。

附录 D　管桩的外观质量

D.0.1　管桩的外观质量应符合表 D.0.1 的规定。

表 D.0.1　管桩的外观质量

序号	项　　目		外观质量要求
1	粘皮和麻面		局部粘皮和麻面累计面积不应大于桩总外表面的 0.5%;每处粘皮和麻面的深度不得大于 5mm,且应修补
2	桩身合缝漏浆		漏浆深度不应大于 5mm,每处漏浆长度不得大于 300mm,累计长度不得大于管桩长度的 10%,或对称漏浆的搭接长度不得大于 100mm,且应修补
3	局部磕损		局部磕损深度不应大于 5mm,每处面积不得大于 5000mm^2,且应修补
4	内外表面露筋		不允许
5	表面裂缝		不得出现环向和纵向裂缝,但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂缝不在此限
6	桩端面平整度		管桩端面混凝土和预应力钢筋墩头不得高出端板平面
7	断筋、脱头		不允许
8	桩套箍凹陷		凹陷深度不应大于 10mm
9	内表面混凝土塌陷		不允许
10	接头、桩套箍与桩身结合面	漏　　浆	漏浆深度不应大于 5mm,漏浆长度不得大于周长的 1/6,且应修补
		空洞和蜂窝	不允许

注：用于设计等级为甲级管桩基础工程或腐蚀性环境下的管桩不允许桩身和缝处、桩套箍与桩身结合处出现漏浆。

附录 E　选择静力压桩机参考表

E.0.1　选择静力压桩机可参考表 E.0.1。

表 E.0.1　选择静力压桩机参考表

项目 \ 压桩机型号	YZY160～YZY180	YZY 240～YZY 280	YZY 300～YZY 360	YZY 400～YZY 460	YZY 500～YZY 600
最大压桩力（kN）	1600～1800	2400～2800	3000～3600	4000～4600	5000～6000
最小桩径（mm）	300	300	400	400	500
最大桩径（mm）	400	500	500	550	600
单桩承载力特征值（kN）	500～1000	800～1500	1000～1900	1500～2500	1800～2800
桩端持力层	中密～密实砂层、硬塑～坚硬黏土层	密实砂层、坚硬黏土层、全风化岩层	密实砂层、坚硬黏土层、全风化岩层	密实砂层、坚硬黏土层、全风化岩层、强风化岩层	密实砂层、坚硬黏土层、全风化岩层、强风化岩层
桩端持力层标贯值 N	20～25	20～35	30～40	30～50	30～55
穿透中密～密实砂层厚度（m）	约 2	2～3	3～4	4～5	4～6

附录 F　选择打桩锤参考表

F.0.1　选择打桩锤参数见表 F.0.1。

表 F.0.1　选择打桩锤参考表

柴油锤型号	30# ~ 36#	40# ~ 50#	60# ~ 62#	72#	80#
冲击体质量（t）	3.2 3.5 3.6	4.0 4.5 4.6 5.0	6.0 6.2	7.2	8.0
锤体总质量（t）	7.2~8.2	9.2~11.0	12.5~15.0	18.4	17.4~20.5
常用冲程（m）	1.6~3.2	1.8~3.2	1.9~3.6	1.8~2.5	2.0~3.4
适用管桩规格	Φ300 Φ400	Φ400 Φ500	Φ500 Φ600	Φ600 Φ800	Φ600 Φ800
单桩竖向承载力特征值适用范围（kN）	500～1200	800～1600	1100～2400	1500～2600	1600～3000
桩端可进入的岩土层	密实砂层 坚硬土层 强风化岩	强风化岩 （N>50）	强风化岩 （N>50）	强风化岩 （N>50）	强风化岩 （N>50）
常用控制贯入度（mm/10 击）	20~50	20~50	20~50	30~70	30~80
液压锤规格(t)	7	7~9	9~11	9~13	11~13

附录G：静 力 压 桩 施 工 记 录 表

G.0.1 静力压桩施工记录表见表 G.0.1。

表 G.0.1 静力压桩施工记录表

工程名称：_____ 施工单位：_____ 桩顶设计标高：_____ 生产厂家：_____ 第 页
建设单位：_____ 桩型及规格：_____ 自然地面标高：_____ 设计承载力特征值：_____共 页
总包单位：_____桩机型号：_____压力换算值： 双缸 1Mpa 时＝_____kN； 四缸 1MPa 时＝_____kN； 六缸 1MPa 时＝_____kN

日期 日/月	序号	起止时间 时：分	下 桩				中 桩				中 桩				上 桩				送 桩		终压力值(kN)	终压次数	桩入土总深度（m）	备注
			长度(m)	油压值（MPa）			长度(m)	油压值（MPa）			长度(m)	油压值（MPa）			长度(m)	油压值（MPa）			深度(m)	油压值（MPa）				
				桩下端	桩中间	桩上端		桩下端	桩中间	桩上端		桩下端	桩中间	桩上端		桩下端	桩中间	桩上端						

建设单位代表： 监理： 工程负责人： 技术负责人： 记录员： 年 月 日

G.0.1 静力压桩施工记录表见表 G.0.2。

表 G.0.2 静压沉桩现场记录表

工程名称：_____桩基规格型号：_____桩机类型：_____单桩承载力特征值：
施工单位：_____混凝土强度：_____桩尖类型：_____ 年 月 日

日期 日/月	序号	桩号	第一节桩		第二节桩		第三节桩		送桩			垂直度	入土深度	桩顶设计标高	桩顶实际标高
			节长（m）	油压值（MPa）	节长（m）	油压值（MPa）	节长（m）	油压值（MPa）	深度（m）	油压值（MPa）	压桩力（kN）		（m）	（m）	（m）

附录 H　静压桩竖向抗压极限承载力与终压力的经验关系公式

H.0.1　静压桩的竖向抗压极限承载力与终压力有如下的经验关系公式：

当 6m ≤ L ≤ 9m 时　　$Q_U = \beta P_{ze}$ =（0.60～0.80）P_{ze}

9m ＜ L ≤ 16m 时　　$Q_U = \beta P_{ze}$ =（0.70～1.00）P_{ze}

16m ＜ L ≤ 25m 时　　$Q_U = \beta P_{ze}$ =（0.85～1.00）P_{ze}

L ＞ 25m 时　　$Q_U = \beta P_{ze}$ =（1.00～1.15）P_{ze}

式中　L—静压桩的入土深度；

Q_U—入土部分的静压桩竖向抗压极限承载力；

β—静压桩竖向抗压极限承载力与终压力的相关系数；

P_{ze}—静压桩的终压力值。

注解：

1　本公式适用于端承摩擦桩或摩擦端承桩，不适用于摩擦桩或端承桩；

2　公式中的终压力（P_{ze}）一般要接近于桩身的抱压允许压桩力（见本规程第 7.5.3 条）。当终压力小于极限承载力较多时，该桩应属摩擦桩，此公式不适用。

3　当桩入土深度较长且土质较好时，β可取大值；反之，则取小值；中间可内插或根据经验确定。相关系数β的取值各地可根据工程实际自行积累经验，特别是当桩的入土深度小于 16 m 时，相关系数的变幅较大，当缺乏类似工程经验时，可采用试压实测手段来确定。

用途：

1　已知桩的终压力、桩的入土深度及桩周土质情况，可以很快估算出该桩的竖向抗压极限承载力，从而可粗略地求得该桩的竖向抗压承载力特征值。作为初步设计或试桩阶段估算单桩竖向抗压承载力特征值的一种辅助方法和补充手段。

2　已知桩的入土深度（根据工程地质资料预估）、土质情况及桩的竖向抗压承载力特征值，可很快求得需要的终压力值，为选择施工用的压桩机、确定终压标准提供一种粗估的手段。

3　公式表明，静压桩的竖向抗压承载力特征值并不是简单地用终压力值除以安全系数 2 就可求得，特别是入土深度 6～9m 的短桩，极限承载力只有终压力值的 60%左右，也就是说单桩竖向抗压承载力特征值只有终压力值的三分之一左右，但终压力值受到桩身混凝土强度等因素即桩身抱压允许压桩力的限制，不能大幅提高，所以，当出现入土深度只有 6～9m 的短桩时，单桩竖向抗压承载力特征值要适当降低，不得任意增加终压次数，否则，适得其反，不仅承载力达不到，而且桩身及压桩机均遭破损。

附录 I：锤 击 沉 桩 施 工 记 录 表

I.0.1 锤击沉桩施工记录表见表 I.0.1。

表 I.0.1 锤击沉桩施工记录表

施工单位：　　第　　页

工程名称				工程地址				打桩顺序号	
管桩外径	mm	管桩壁厚	mm	质量等级		接头形式		管桩生产厂	
桩位编号		桩尖形式		桩机型号		桩锤类型		单桩承载力特征值	kN

锤击记录																								
桩节顺序（从底至顶）	节长及桩身号（m）	锤规格及落距	锤击起止时间			每米沉桩锤击数															累计总数	电焊焊接时间（min）及焊缝外观质量	
			日	时	分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
第一节																							
第二节																							
第三节																						总锤击数	

收锤及验收记录									
收锤时间	月　日　时　分			锤规格落距		最后贯入度	mm/10 击	mm/10 击	mm/10 击
配桩长度	m	送桩深度	m	桩入土深度	m	桩高出自然地面	m	桩顶状况	
用灯光照射法目测管桩内壁情况						用开口桩时，管内进土高度	m	天气	
								填表日期	年　月　日
记录员		班组长				工地负责人		监理代表	

I.0.2 锤击沉桩施工现场记录表见表 I.0.2。

表 I.0.2 锤击沉桩现场记录表

工程名称：_____桩基规格型号：_____桩锤类型：_____单桩承载力特征值：
施工单位：_____混凝土强度：_____桩尖类型：_____ 年 月 日

序号	桩号	施工日期	桩径（mm）	入土深度（m）	桩顶设计标高	配桩长度（m）			送桩深度（m）	最后沉锤贯入（mm/10 击）			总锤击数	爆锤米数	备注
						第一节	第二节	第三节							

附录 J 植入法沉桩施工现场记录表

复合桩外芯施工记录表见表 J.0.1

表 J.0.1 复合桩外芯施工记录表

工程名称：_____设计桩顶标高：_____设计桩底标高：_____钻机类型：

序号	桩号	施工日期	地面标高（m）	施工工序	时间			浆液压力	钻杆旋转速度	钻杆下沉/提升速度	垂直度偏差	混凝土用量	终孔电流值（A）	备注
					起	止	累计（min）							
				下沉										
				提升										
				下沉										
				提升										
				下沉										
				提升										
				下沉										
				提升										

施工单位： **记录员：** **年 月 日**

附录 J.0.1：预制桩内芯施工记录表见表 J.0.2-1~2

表 J.0.2-1 锤击沉桩施工记录表

工程名称：_____桩锤类型：_____桩基规格型号：_____桩尖类型：_____单桩承载力特征值：

序号	桩号	施工日期	桩径(mm)	入土深度(mm)	桩顶设计标高	配桩长度(m)			送桩深度(m)	最后沉锤贯入(mm/击)			总锤击数	爆锤米数	备注
						第一节	第二节	第三节							

施工单位： **记录员：** **年 月 日**

表 J.0.2-2 静压沉桩施工记录表

工程名称：_____桩机类型：_____桩基规格型号：_____桩尖类型：_____单桩承载力特征值：

日期 日/月	序号	桩号	第一节桩		第二节桩		第三节桩		送桩			垂直度	入土深度	桩顶设计标高	桩顶实际标高
			节长（m）	油压值（MPa）	节长（m）	油压值（MPa）	节长（m）	油压值（MPa）	深度（m）	油压值（MPa）	压桩力（kN）		（m）	（m）	（m）

施工单位：　　记录员：　　年　月　日

本规程用词说明

1　为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件允许时首先这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2　规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为：“可参照……执行”。

引用标准名录

《工程结构通用规范》GB 55001

《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002

《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003

《钢结构通用规范》GB 55006

《混凝土结构通用规范》GB 55008

《工程勘察通用规范》 GB 55017

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB2050068

《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499.2

《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685

《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3

《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701

《碳素结构钢》GB/T 700

《碳钢焊条》GB/T 5117

《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72

《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《混凝土用水标准》JGJ 63

《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》JC/T 540

《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81

《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947

《建筑地基基础技术规范》DB 21/T907

《岩土工程勘察报告编制标准》DB 21/T1214

《建筑基桩及复合地基检测技术规程》DB 21/T1450

《预应力混凝土管桩图集》10G409

辽 宁 省 地 方 标 准

预应力混凝土管桩基础技术规程

DB21/T1565—2023

条文说明

目　次

1　总则 ……105
3　基本规定 ……107
4　管桩的规格、材料、构造与质量 ……109
4.1　规格分类 ……109
4.2　材料 ……109
5　管桩基础的岩土工程勘察 ……110
5.1　工程勘察 ……110
6　管桩基础设计 ……111
6.1　一般规定 ……111
6.2　桩基计算 ……114
6.3　构造要求和防腐措施 ……129
7　复合桩基础设计 ……131
7.1　劲性复合桩 ……131
7.2　机械成孔劲性复合桩……131
8　管桩复合地基 ……133
8.1　一般规定 ……133
8.2　设计 ……133
9　管桩基础施工 ……134
9.1　一般规定 ……134
9.2　管桩的堆放及吊运 ……134
9.3　液压式静力压桩机具 ……137
9.4　锤击式打桩机具 ……138
9.5　静力压桩 ……138
9.6　锤击打桩 ……140
9.7　高频液压振动锤沉桩 ……141
9.8　植入法沉桩 ……141

9.9 截桩及缺陷桩处理 ……141
10 质量检测和工程验收 ……143
10.1 桩身及桩尖的检查和检测 ……143
10.2 压桩过程中的工程质量检查和检测 ……143
10.3 打桩过程中的工程质量检查和检测 ……**143**
10.4 植桩过程中的工程质量检查和检测……**143**
10.5 成桩质量检测 ……143
10.6 验证与扩大检测……**144**
10.7 工程验收 ……**144**

1 总　　则

1.0.1　预应力混凝土管桩自上世纪 90 年代初开始在国内应用，2005 年初在我省开始在工程中采用预应力混凝土管桩作为桩基础，在总结省内外多年经验的基础上 2007 年制定了第一部辽宁省地方标准《预应力混凝土管桩技术规程》DB 21/T1565—2007（以下简称 2007 版规程）。2007 版规程内容全面、针对性强、可操作性强，是一部集管桩基础岩土勘察、桩身质量、设计、施工、检测和验收等于一体的综合性省级行业标准，填补了省内空白。该规程实施后，设计、施工、监理、检测、质检等技术人员有章可循，不仅单桩承载力高，而且工程质量容易得到控制，受到辽宁省土木工程界的肯定和欢迎，大大地促进了预应力管桩在辽宁省的推广与应用，使管桩成为辽宁省工程技术人员优先选用的桩型，实施多年来，取得了巨大的经济和社会效益。2007 年底，省内有 7 家管桩生产企业，生产能力约 300 万延米，静力压桩机约 40 台，锤击式打桩机约 30 台；2013 年底，省内有 21 家管桩生产企业，生产能力约 5000 万延米，静力压桩机约 400 台，锤击式打桩机约 300 台。2007 年管桩用量不足 1000 万延米，以后逐年增长到 2011 年达到顶峰，管桩用量约 2000 万延米，2012 年和 2013 年管桩用量各约 1500 万延米，2014 年至今，我省的管桩用量维持在每年约 1000 万米。到目前为止，还未发现由于管桩的质量问题而引起基础的破坏造成建筑物重大事故的实例，管桩基础的质量基本有保证。

2011 年开始对 2007 版规程进行修订，历经 4 年形成《预应力混凝土管桩技术规程》DB 21/T1565—2015（以下简称 2015 版规程），2015 版规程主要修订内容：①新修订的国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB13476-2009 将管桩的保护层厚度加大，钢筋用钢量增多，以提高管桩基础的耐久性，新修订的规程在管桩构造及力学性能等方面应体现这些变化；②吸纳、推广较成熟的科研成果、新技术、新工艺、新机械，对原规程的条文进行改进。如提高中、长管桩的单桩竖向抗压承载力特征值，提出截桩填芯后管桩的斜截面抗剪承载力计算公式，进一步明确静压桩终压力值估算方法、锤击打桩最后贯入度参考值，增强管桩基础施工、工程桩质量检测等条文的可操作性等；③国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008、国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011、辽宁省地方标准《建筑地基基础技术规范》DB 21/907-2014 等标准相继修订完成并发布实施，2015 版规程与上述标准协调一致。

2007 版规程、2015 版规程主要适用于 C80 高强混凝土预应力混凝土环形截面桩（PHC）基础。近几年，预应力高强混凝土方箱形截面桩(PHS)、厚壁式高强预应力混凝土管桩、C105 超高强

混凝土预应力混凝土管桩等在工程中应用逐渐增多；新的沉桩工艺形成新的桩型，如水泥土劲性复合桩、机械成孔劲性复合桩，扩大了管桩的应用范围；在静载试验和专项研究分析的基础上，对管桩的水平承载力、复合地基承载力等的计算参数也需要进行调整。同时，2018 年初行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 - 2017（以下简称 2017 版行标）开始实施，2022 年国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 - 2021 等强制性标准相继发布实施，辽宁省地方标准《建筑地基基础技术规范》DB 21/907-2023 等标准页在修订中。为了更安全、合理地在工程中应用新桩型、新工艺、新的研究成果，及与新实施的标准相协调，2022 年开始对《预应力混凝土管桩技术规程》DB 21/T1565—2015 进行修订。

1.0.2 目前应用管桩最多是工业与民用建筑（包括构筑物），近几年，市政、桥梁、公路、铁路、水利、电力设施等工程中应用管桩数量也逐年增多。

1.0.3~1.0.4 我省地域广阔，地貌复杂多样，地层结构变化较大，除山区地基外，均适合采用管桩基础。静压管桩适用于覆盖层宜压穿、桩端持力层较密致、坚硬的地质条件。桩端持力层可选择为硬塑~坚硬粘土层；中密~密实碎石土、砂土、粉土层；全风化岩层，这些持力层可提供很高的桩端阻力。沈阳周边地区、营口、盘锦等松辽平原地区适合采用静压管桩基础。锤击管桩可以穿透较厚的密实砂层夹层，也可以进入密实砂层持力层较大的深度，还可以进入强风化岩一定的深度满足桩端埋深要求，锦州、葫芦岛、鲅鱼圈等沿海地区及沈阳城区内、铁岭等地基土为深厚砂层的地区适合采用锤击管桩基础。锤击管桩基础施工时会对环境造成一定的影响，主要是噪声、振动、挤土和油污等污染，因此要求设计人员选用管桩沉桩方法时应考虑环保问题，在环保法规部不允许打桩的地方不应选择锤击式管桩基础。在允许打桩的地方进行打桩，施工单位在施工前编制施工组织设计时应考虑环保问题，将打桩可能引起的灾害减低到最低程度。

1.0.5 本条主要对静压桩基础而言，静压桩基础的设计和施工需要密切配合，只有设计和施工密切配合才能顺利完成静压桩施工。在地质情况较复杂的场地，经常出现桩的入土深度短于设计桩长较多的情况，一般情况下单桩承载力达不到设计要求，这时就要及时调整桩的承载力，必要时应增加桩数，或者采用最大压桩力更大的压桩机重新再压。这种调整工作应立即进行并尽快实施，最好在每个承台内的桩施压完成时进行，不要等工程桩全部完成后再做，因为这样做，压桩机要来回移动，对已完成的工程桩会产生挤压破坏作用。

3 基本规定

3.0.1 本规程根据管桩的截面形式（圆环形截面和方箱形截面）、混凝土强度等级（C80 和 C105）管壁厚度（标准壁厚、厚壁和薄壁）等规定了 8 种桩型，各种桩型均可按国家标准图集或地方标准图集进行设计制作。厚壁桩主要用于防腐蚀桩、超高强厚壁桩管桩主要用于防腐蚀桩和穿透硬夹层或进入持力层一定深度，薄壁桩主要用于地基处理。在附录 A 中给出各种桩型的结构形式、桩身配筋及相关参数和力学性能表，方便使用者参考。

3.0.2 我省的管桩主要用于低桩承台中的基桩。复合地基中的增强体只承受压力，不承受弯矩和剪力，可充分发挥管桩受压承载力高的优点，在满足耐久性要求的前提下可选用薄壁型管桩作为增强体。管桩也可以用于基坑工程、水利工程的支护桩，支护桩主要承受弯矩和剪力作用，B 型和 C 型 PHC 桩的受弯承载力和受剪承载力设计值均高于相同直径、配普通筋的混凝土实心桩，用作支护桩时可选用此类桩。管桩也可用于地面以上电力设施、交通设施等压弯或纯弯为主的竖向承重构件。当管桩作为压弯或受弯为主的竖向承重构件时，应进行正截面承载力、斜截面承载力和裂缝控制计算。

3.0.4 在我省应用的管桩基础，桩长主要为不大于 25m 的中、短桩，竖向荷载主要由桩端阻力承受，属于摩擦端承桩。从充分发挥管桩的承载力和方便施工的角度，锤击管桩更适合我省大部分地区的地质条件，由于环境保护的限制，城区内主要采用静压桩。静压桩在可塑状态黏性土、粉土、松散砂土土层中难以充分发挥桩身承载力高的优点，可采用水泥土管桩劲性复合桩或机械成孔管桩劲性复合桩，提高单桩的承载力。对于需穿越坚硬夹层到达持力层的管桩，可采用植入法机械成孔管桩劲性复合桩，提高单桩的承载力，减少施工时的挤土效应。

管桩施工时也可配合引孔辅助法沉桩，可有效地减轻挤土效应，也可以采用引孔法穿越坚硬夹层增加桩的入土深度。

3.0.9、3.0.10 这两条引自《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406，仅对 C80 及以上混凝土强度的管桩的防腐性能提出要求。钢筋混凝土自身耐久性能对桩的耐久性有重要作用，所以对混凝土的强度等级、水胶比、抗渗等级、Cl^{-1} 含量、碱含量和钢筋的保护层厚度均有较高要求。在硫酸根离子、氯离子介质腐蚀条件下，提出桩身采用耐腐蚀材料制作的措施是个治本的办法，当已能满足防腐蚀性能要求时，可以不再考虑其他防护措施。当管桩桩身防腐不满足要求时，可按表 3.0.10 采用增加钢筋混凝土保护层厚度等方法。

我省处于严寒和寒冷地区，“严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土直接接触的环境”属于环境类别二 a，“严寒和寒冷地区的冰冻线以上与无侵蚀性的水或土直接接触的环境”属于环境类别二 b。 我省地基土的标准冻结深度介于 0.8m~1.4m 之间，正常条件下，管桩的埋深大于标准冻结深度时，可认为处于环境类别二 a 类，管桩的最外层钢筋的混凝土保护层厚度大于 20mm，可在环境类别二 a 类的地基中使用管桩；环境类别二 b 类时，应选用直径 400mm 及以上管桩。

3.0.15 管桩桩身裂缝控制计算主要用于支护桩和抗拔桩。管桩比普通钢筋混凝土桩的延性差，开裂后承载力的增加空间不多，刚度也下降的较多，所以裂缝控制等级严于普通钢筋混凝土桩。

4 材料与分类

4.1 材料

4.1.1 管桩按桩身混凝土强度等级分为 PC 桩和 PHC 桩。PC 是预应力混凝土管桩的代号，按国标《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的要求，PC 桩的混凝土强度等级不得低于 C60，因此，PC 桩都不经高压蒸养，常压蒸养脱模后就浸水养护，其养护龄期一般要求为 28 天。PHC 是预应力高强混凝土管桩的代号，按国标 GB 13476 的要求，PHC 桩的混凝土强度等级不得低于 C80，因而，PHC 桩一般都应经高压釜蒸养，出釜冷却至常温后即可使用。目前省内主要生产 PHC 桩，PC 桩的生产量较少，因为 PC 桩的生产周期较长，占用场地较多，而且 PC 桩的强度较低，承受抱压力和锤击力的能力远不如 PHC 桩，静压或锤击时容易破碎，耐久性较差，不推荐在工程桩上使用 PC 桩。本规程仅适用于桩身混凝土强度等级不低于 C80 的管桩。

4.2 分类

4.2.2 环形截面管桩按外径可分为多种规格。常用的规格为 300mm、400mm、500mm 和 600mm，可称之为小直径管桩，而外径≥700mm 的管桩，可称为大直径管桩，最大直径可达 1400mm，单节长度最长可达 50m，主要用于港口、水工工程。与现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》的规格分类一致。大直径管桩基础也可参考本规程使用。

4.2.3 箱型截面管桩为本规程新增桩型，本条所列规格为常用规格。

5　管桩基础的岩土工程勘察

5.1　工程勘察

5.1.3　岩土工程勘察中采用静力触探试验、标准贯入试验及动力触探试验等多种测试能取得较好的勘察效果。静力触探试验贯入过程与静压桩贯入过程非常类似，其测试成果较适合静压管桩的承载力估算，适用于各类土层和全风化、强风化岩层，有条件时宜优先采用。标准贯入试验好似模拟打桩，其测试成果较适合锤击管桩的承载力估算，也适用于各类土层和全风化、强风化岩层；重型（2）动力触探试验特别适用于厚层的稍密～中密砂层。静力触探在我省应用仍不广泛，仅盘锦、营口、锦州等沿海地区有所应用，主要是由于探头贯入能力不足，难于到达管桩的持力层。广东省现在已有能连续贯入 15 MPa＜q_c≤25 MPa 岩土层 5m 的全套静力触探设备，省内的勘察单位应积极引进。

我省岩土工程勘察的习惯做法是根据重型动力触探锤击数或标准贯入锤击数的杆长修正值确定管桩侧摩阻力特征值 q_{sia} 和端阻力特征值 q_{pa}，表 5.1.3 引自辽宁省地方标准《建筑地基基础技术规范》DB 21/T907-2023。本条强调标准贯入试验击数或重型动力触探击数应进行触探杆长度校正并提出校正公式。应注意表 5.1.3 规定的杆长修正系数，与国标《建筑地基基础设计规范》GB 50007 不一致，使用时标准体系应一致对应。辽宁地方标准是按表 5.1.3 杆长修正值确定的地基土强度指标经验值。

6　管桩基础设计

6.1　一般规定

6.1.2　工程中不推荐采用 A 型桩，A 型桩的配筋率在 0.5%左右，抗弯和抗剪承载力较低，尤其是桩身受弯承载力设计值比开裂弯矩值提高不多（详见附录 A），桩身一旦开裂，很快达到承载力设计值，延性差，致使桩身受弯破坏，可以作为仅承受竖向压力的复合地基的增强体使用。直径 300mm 的管桩和薄壁型管桩，钢筋保护层厚度小，受弯和受剪承载力低，作为工程桩时提出限制条件，推荐作为仅承受竖向压力的复合地基的增强体使用。

《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ /T406 及广东省地方标准和 2015 版规程都明确规定，管桩适用于抗震设防烈度 8 度的地区，但“应根据建筑物情况及桩基实际受力状况，按所选桩型的各项力学指标加以选用，并采取相应的构造措施”。一些技术人员不知道如何根据管桩的力学指标选用管桩，限制了管桩在 8 度区的应用。钢筋混凝土灌注桩可以在 8 度区应用，将各型号管桩桩身的抗剪承载力、抗裂弯矩、抗弯承载力与相同直径、配筋率较大的灌注桩的各项力学指标进行比较，列表于附录 A。一般灌注桩采用 C30 混凝土，纵筋配筋率为 0.6%~0.8%，箍筋为Φ6@200，考虑到 8 度区加强配筋，纵筋配筋率分别取为 1.0%、1.5%，箍筋为Φ8@200；主要比较对抗震能力有影响的指标，即抗剪、抗弯承载力等。比较结果如下：

1.管桩的抗剪承载力均大于相同直径灌注桩的抗剪承载力；

2.各种直径 A 型管桩的开裂弯矩值均小于相同直径灌注桩的抗弯承载力设计值，600mm 直径 AB 型管桩的开裂弯矩值略小于相同直径灌注桩的抗弯承载力设计值，其余各种型号管桩的开裂弯矩值均大于相同直径灌注桩的抗弯承载力设计值。

辽宁省各地区多为抗震设防区，在地震发生时为保障人员及建筑物的安全，在使用管桩时要求桩身承载力要有一定安全储备，不至于管桩混凝土开裂后，迅速丧失承载能力，危及结构安全。地震作用下结构构件验算是采用承载能力极限状态，作为承受弯矩作用的桩，假定把承载力极限状态下管桩抗弯承载力设计值与正常使用极限状态下开裂弯矩标准值相对应的开裂弯矩设计值的比值，作为衡量管桩在开裂后能够继续承担弯矩作用的能力的指标，把它称为管桩的抗弯安全系数，具体见表 1。

表 1　管桩抗弯安全系数计算表

桩型 PHC		抗弯承载力设计值	开裂弯矩设计值	抗弯安全系数
300(70)	A	27	31	0.87
	AB	41	39	1.05
	B	52	45	1.16
	C	67	54	1.19
400(95)	A	66	75	0.88
	AB	91	88	1.03
	B	123	105	1.17
	C	150	121	1.24
500(100)	A	136	148	0.92
	AB	184	173	1.06
	B	242	205	1.18
	C	273	225	1.21
500(125)	A	140	154	0.91
	AB	192	180	1.07
	B	253	213	1.19
	C	301	241	1.25
600(110)	A	212	239	0.89
	AB	290	280	1.04
	B	382	331	1.15
	C	443	369	1.20
600(130)	A	234	256	0.91
	AB	319	300	1.06
	B	421	356	1.18
	C	499	404	1.24

从表 1 可以看出 A 型、AB 型、B 型、C 型管桩的抗弯安全系数分别约为 0.9、1.05、1.20、1.25，抗弯安全系数越大表明管桩开裂后继续承受弯矩的能力越强，安全储备越大。A 型桩安全系数小于 1.0，说明桩体尚未开裂时已经达到了极限弯矩，桩体发生脆性破坏，不能作为抗弯构件使用。AB 型桩桩身受弯承载力设计值比开裂弯矩值提高不多，桩身一旦开裂，很快达到承载力设计

值，致使桩身受弯破坏，作为受弯桩也不太合适。而 B 型和 C 型桩抗弯承载力至少有近 20%的安全储备，把他作为抗弯构件是合适的。另外，从以上数据我们还可以看出直径 D=300mm、400mm 的管桩抗弯承载力设计值和开裂弯矩的绝对值都比较小，自身承载力有限，作为受弯桩使用时安全性和经济性都没有优势。综合管桩抗弯能力、抗剪能力和安全性，管桩作为受弯桩使用时建议首节桩采用的 B 型或 C 型 PHC 管桩，第二节及一下节桩可采用 AB 型桩。

综上所述，抗震设防区不应采用 A 型管桩，其余各型管桩均可应用，但 8 度设防区宜采用 B 型或 C 型桩作为首节桩，尤其建筑场地类别为 III、IV 类时，地震力大、地基土对管桩的支持比较弱，地震剪力和弯矩主要由管桩基础承担，若用管桩，宜采用 C 型桩。

抗拔桩主要承受拉力，且抗拔桩的裂缝控制等级为一级，即桩身混凝土不出现拉应力，A 型桩的受拉承载力太低，浪费材料。

支护桩主要承受弯矩，裂缝控制等级为二级，即桩身混凝土的拉应力不应大于混凝土抗拉强度标准值，而且还要求有一定的延性，所以要求采用 B 型或 AB 型桩。抗拔桩和支护桩接头的特殊措施详见本规程第 6.3.5 条。

腐蚀环境下应用管桩时，主要应选择保护层厚度大、抗裂能力强的管桩，宜选用厚壁型管桩。

6.1.3 本条第 7 款规定多层建筑（框架结构、框剪结构）、底框架砌体房屋可以采用一柱一桩的布桩方式。工程设计一般采用在柱下设置双桩或三桩，桩间设置承台托柱的方法抵抗柱底弯矩，这种设计方法没有发挥管桩的竖向抗压承载力高的特点。本款规定的思路是：让桩主要承担竖向荷载，柱底弯矩由拉梁平衡，并且要求在梁柱节点处做到强梁弱柱，可做到地震作用下塑性铰出现在柱底部，拉梁仍处在弹性或不屈服状态不造成破坏。拉梁按框架梁设计，两端箍筋加密做到强剪弱弯，拉梁两侧土夯实有效传递梁平面外扭矩和剪力。施工允许桩的偏心范围内会对桩产生弯矩和剪力，要求桩长不应小于 6m，桩径不宜小于 500mm， AB 型或 AB 型以上 PHC 桩，保证桩有足够的抗弯、剪能力， 太短的桩易发生剪切破坏。

6.1.5 将管桩基础计算或验算的主要内容列出，各项计算或验算的方法和要求列于本章各有关条款中，可根据工程的实际情况进行全部内容或部分内容的计算或验算工作。

6.1.6 本条与《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 的规定相协调。单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载荷试验确定。

对于设计等级为甲级和乙级，以及地质条件较复杂的管桩基础工程，如摩擦型桩和持力层为易软化风化岩的管桩基础工程；或当地使用管桩时间不长、设计经验不足的各设计等级的管桩基础工程；或管桩的有效桩长小于 6m 的管桩。为了求得合理的单桩设计承载力和其他设计参数，应事先进行试验桩，这就是本规程所称的“静载试验桩”。这种桩应在设计阶段进行。静载试验桩的数量不得少于 3 根。静载荷试验方法应按辽宁省标准《建筑基桩及复合地基检测技术规范》DB21/T1450 的有关规定执行。至于

静载荷试验的开始时间，DB21/T1450 中规定："预制桩在砂土中入土 7 天后；粉土不得少于 10 天；对于饱和软黏土不得少于 25 天。"本规程考虑到管桩基础的特点，根据我省及国内其他省的经验，在试验桩沉桩以后进行静载荷试验的开始时间定为：端承型桩应在沉桩 7 天后。这是指不管在砂土、粉土、黏性土中端承型管桩，均按不少于 7 天来控制。在砂土层中的管桩，当沉桩完成 7 天后，若有"假凝"现象也已暴露出来，其得到的承载力应是实际承载力，所以本规程规定砂土层中沉桩的开始静载试验时间与省设计规范 DB21/T1450 规定的时间一致。至于在粉土、黏性土中的端承型管桩，本规程规定的开始静载试验的时间比 DB21/T1450 规定的时间要短一些，目的是为了节约时间,这样测出来的承载力还是有一定的安全储备，因为在这些土层中的管桩基础，其土体的固结、摩阻力的恢复随时间而增加，7 天的承载力若能达到要求，那么七天后的承载力会有所增加，因此这样的做法可使管桩基础总体上是趋于安全的。对于摩擦型桩，桩的承载力主要由桩侧阻力提供，庄周土体的固结、摩阻力的恢复随时间而增加，应在沉桩 25 天后进行静载荷试验，才能能到真实的承载力。至于持力层为易软化的风化岩的基桩，应在压桩 25 天后进行静载荷试验。因为管桩基础的持力层一般为强风化岩层，也有一些是全风化岩层，而强风化、全风化泥岩中的一些管桩基础（含泥量较多的强风化或全风化花岗岩层也须关注），当沉桩后 7～8 天进行静载荷试验得到的单桩承载力较高，但经过 20～30 天后，由于桩端附近的持力层风化岩遇水软化或崩解，强度降低，此时，若进行复压（打），管桩还可继续下沉。若再进行静载荷试验，其承载力大大降低。因此，在这样的地质条件下静载荷试验开始的时间应至少在沉桩入土后 25 天。遇到这样的地质条件，其设计和施工的注意事项应遵照本规程的有关规定。但从全省来看，不是说凡是强风化、全风化泥岩中的管桩基础，都有易软化的问题。有些地区的强风化泥岩作管桩基础持力层的工程就没有桩端岩（土）层软化的问题。所以本规程强调当地经验确认风化岩持力层有软化现象时，才确定静载试验的开始时间为压桩 25 天后。如果当地经验确认强风化泥岩持力层没有软化的问题，那么静载试验的开始时间仍按压桩 7 天后考虑。

管桩自 2005 年开始在我省应用，全省范围内均有应用，积累了丰富原位试验参数和工程经验。《预应力混凝土管桩基础技术规程》DB21/T 1565 经过两次修订，提供的根据地基土的物理力学指标与承载力参数之间的关系估算单桩承载力特征值，作为初步设计时估算单桩承载力特征值具有较高的精度。

6.2 桩基计算

6.2.5、6.2.6 2007 版规程自 2008 年 1 月发布实施，之前管桩在我省应用的时间不长，工程量也不多，当时在编制预应力管桩侧摩阻力、端阻力特征值表时，"本着安全第一、适当留有余地的原则，以实验为基础，体现辽宁省的区域特点"。"由于目前收集到锤击贯入法的试桩资料较少，因此，该表（原规程表 5.2.4-5 锤击管桩桩端阻力特征值 q_{pa}）是在参考外地资料和辽宁省地方标准《建筑地基基础技术规范》DB/907 中关于预制桩的承载力特征值，结合静压管桩的特征值指标综合制定的，其承载力有所偏低，

因此，对锤击预应力管桩更应强调试桩，并进一步积累资料”。2007 版规程实施以来，管桩在辽宁地区开始大量应用，尤其在营口、盘锦、沈阳周边市县等有适合静压管桩应用的地基的地区，静压管桩为当地首选基础桩型。规程强调在设计阶段通过试桩确定确定单桩竖向承载力，但实际工程中执行的不好，设计院一般按 2007 版规程 5.2.4 条提供的计算公式和承载力参数表确定单桩承载力特征值。由于这类地区土层分布的特点自上而下一般为：5m~10m 的粘土或粉质粘土层、10m 左右的粉、细砂层（局部有粉砂层或粉质粘土夹层）、深厚细砂层（大于 30m），典型土层剖面见图 1。管桩在这类地区的工程应用中主要出现两个问题：

1.管桩压入细砂层一定深度后（一般 3m 左右，4d~8d 桩径），很难再压入，为达到设计要求的桩长，经常将桩头压碎，无法再压桩。此时，压力值已达到单桩承载力的 2 倍以上；

2.设计单位给出的单桩承载力特征值基本上均小于静载荷试验得出的单桩承载力特征值，大部分试桩得到的单桩承载力大于设计单桩承载力 20%以上。

对于管桩工程实践中出现的上述问题，除管桩质量和压桩机压力不足等因素外，下面重点探讨管桩侧摩阻力和端阻力的不同取值方法，导致单桩承载力取值的差异，并通过与静载荷试验得出的单桩单桩承载力比较，推荐合适的单桩承载力计算方法。

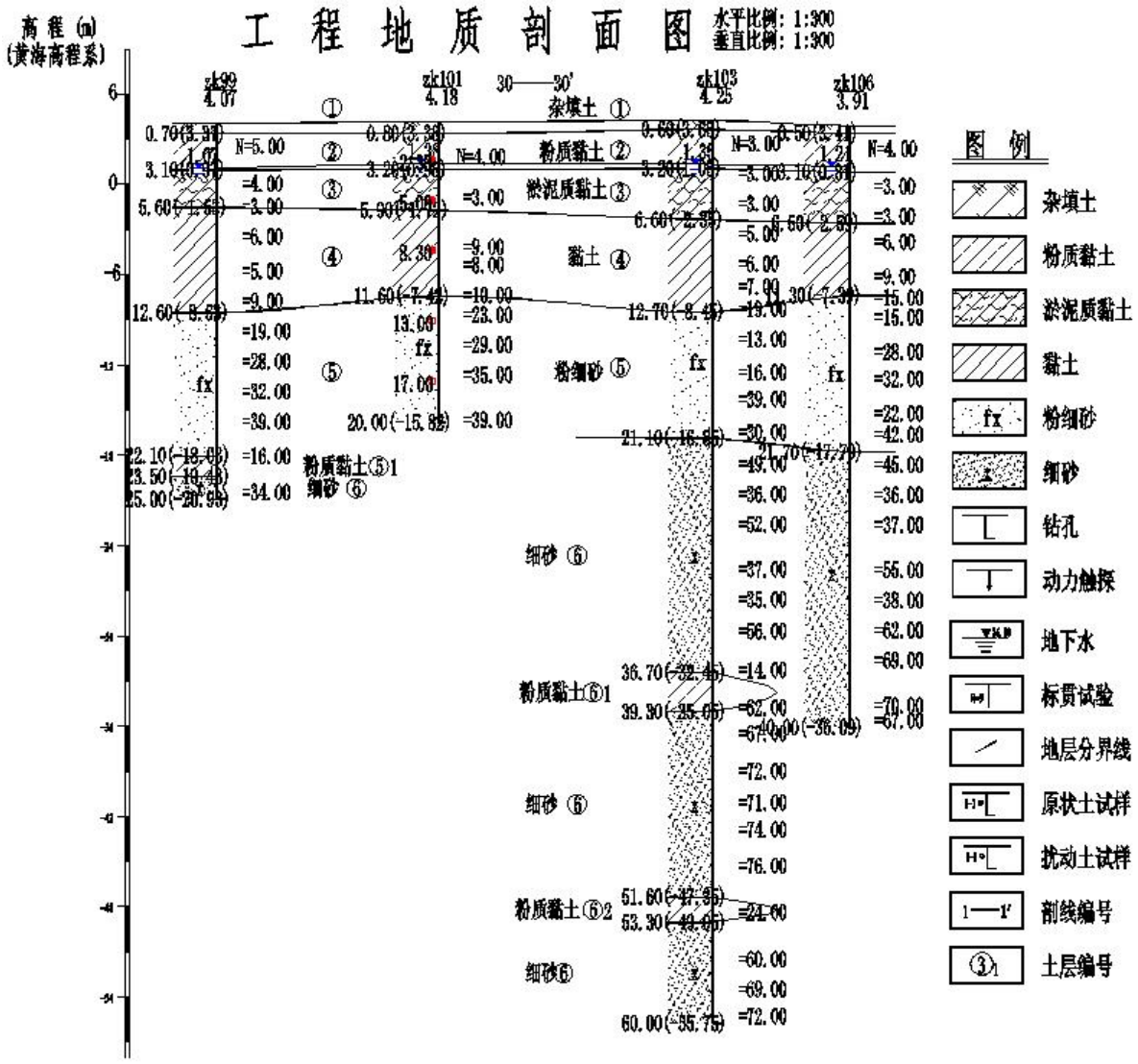


图 1 盘锦地区典型地层剖面

现行国内主要《规范》、《规程》规定的单桩承载力计算方法：行业标准《建筑桩基技术规范》采用原位测试法根据单桥探头静力触探资料或双桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力；浙江省地方标准桩侧摩阻力和桩端阻力由土层的三个指标综合确定，即第一指标土的状态（黏性土的液性指数 I_L，砂土、碎石土的密实度），第二指标静力触探锥尖阻力，第三指标粘性土的压缩系数值；广东、湖北及辽宁省地方标准桩侧摩阻力和桩端阻力由土的状态确定。辽宁省地方标准根据土的状态（I_L、$N_{63.5}$）值给出桩侧摩阻力和桩端阻力的具体数值，方便技术人员使用，其他各标准中土的状态和各种状态对应的桩侧摩阻力和桩端阻力均为范围值，需要有丰富经验的工程师作出判断后给出具体数值，不同的工程师给出的具体数值可能差别很大，不方便操作。浙江省和辽宁省地方标准对桩侧摩阻力和桩端阻力均进行深度修正，随桩入土深度的增加而增大，广东省和湖北省地方标准仅对桩端阻力进行深度修正。

以几个工程实例，分别采用行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 - 2008 提出的原位测试法计算公式和 2007 版规程给出的经验公式计算单桩承载力，并与工程桩试桩结果比较。比较结果见表 1。

表 1 不同算法单桩承载力特征值比较表

工程名称	静力触探法 1 (kPa)	地勘报告 2 (kPa)	2007 版规程 3 (kPa)	静载试桩 4 (kPa)	1/3 (%)	2/3 (%)	4/3 (%)
盘锦利港银河新城桩长 24m	1863	1930	1912	2000	97%	101%	105%
盘锦利港银河新城桩长 15m	1119	1089	999		112%	109%	
盘锦长湖新城桩长 21m	1887	1440	1231		153%	117%	
盘锦长湖新城桩长 15m	1280	917	870		147%	105%	
盘锦日月光城桩长 19m	1138	1017	1060		107%	96%	
盘锦日月光城桩长 10m	643	456	592		109%	77%	
盘山县人民医院桩长 13m	933	623	829	900	113%	75%	109%
营口沿海科技大厦桩长 24m	1725	1489	1459	1650	118%	102%	113%
中泰.大德温泉小镇桩长 10m	872	529	680	700	128%	78%	103%

9 个工程按静力触探法计算的单桩承载力特征值为按 2007 版规程计算的单桩承载力特征值的 0.97~1.53 倍，平均值为 1.20 倍，桩长愈长单桩承载力提高愈多。按《地勘报告》提供的土层参数计算的单桩承载力特征值为按 2007 版规程提供的土层参数计算的单桩承载力特征值的 0.75~1.17 倍，平均值为 0.96 倍。工程实例中的静载荷试桩均为工程桩验证性试桩，非破坏性试桩，得到的试验结果不能作为单桩极限承载力，试桩值为按 2007 版规程计算值的 1.03~1.13 倍，平均值为 1.08 倍。

由于静力触探与静压桩在贯入机理及贯入速率等方面的一致性，用静力触探比贯入阻力估算预应力管桩单桩承载力已为工程界广泛认可。行业标准《建筑桩基技术规范》规定用静力触探法估算预制桩的单桩承载力，建议我省的预应力管桩单桩承载力估算也采用静力触探法。由于省内各地提供《地勘报告》的勘探习惯不同，如沈阳等地的《地勘报告》一般不提供静力触探资料，仅提供标贯指标和重型动力触探指标，2015 版的辽宁省地方标准《预应力管桩基础技术规程》，单桩竖向承载力给出两种计算方法：

1 原位测试法，根据单桥探头静力触探资料或根据双桥探头静力触探资料，按《建筑桩基技术规程》JGJ 94 – 2008 的规定估算单桩承载力。

2 经验参数法 1，仍按 2007 版规程表 5.2.4-1 确定桩侧摩阻力特征值（下表 2）和表 5.2.4-3 确定桩端阻力特征值（下表 3），但对于不小于 20m 的桩，表 2 桩侧摩阻力特征值的埋深修正系数提高约 10%（见表 4），表 3 桩端阻力特征值的埋深修正系数提高约 20%（见表 5），不大于 10m 的桩侧摩阻力和端阻力均不提高，桩长 10m~20m 之间桩的埋深修正系数按桩长插值确定。重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$

或标准贯入锤击数 N，均应按 2007 版规程的规定进行杆长修正。修改后的桩侧摩阻力特征值埋深修正系数 $\acute{g}_s$、桩端阻力特征值埋深修正系数 $\acute{g}_p$ 分别见表 4 和表 5。

表 2　DB21/T1565-2007 管桩侧摩阻力特征值 q_{sia}

桩侧土	岩　土　状　态								
	侧摩阻力特征值 q_{sia}（kPa）								
填　土	$N_{63.5}$	1	2	3	4	5	6	7	8
	q_{sia} 值	10	11	12	13	14	15	16	17
淤泥质土	天然含水量 w(%)	85	75	65	55	45	35		
	q_{sia} 值	9	10	11	12	13	14		
黏性土	液性指数 I_L	≥1.0	0.75	0.50	0.25	0	-0.25		
	q_{sia} 值	16	24	30	36	42	48		
粉　土	天然孔隙比 e	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	
	q_{sia} 值	14	18	21	25	28	35	38	
	$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40
粉细砂	q_{sia} 值	23	32	41	50	60	70		
中粗砂		26	36	46	62	80	100		
砾　砂		39	57	71	90	106	125		
碎石类土		44	63	81	100	120	140		
极软岩		25	34	42	51	60	69	77	
软　岩		40	55	70	85	100	115	130	145

表 3　DB21/T1565-2007 管桩桩端阻力特征值 q_{pa}

桩端土	岩　土　状　态								
	端阻力特征值 q_{pa}（kPa）								
黏性土	液性指数 I_L	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	≤0
	q_{pa} 值	600	900	1200	1400	1660	1890	2100	2300
粉　土	天然孔隙比 e	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
	q_{pa} 值	460	690	930	1160	1400	1630	1870	2100

	$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40
粉 细 砂	q_{pa}值	2480	2680	2870	3080	3270	3450	3630	3820
中 粗 砂		3450	4100	4700	5350	5700	6000	6400	6750
砾　　砂		4260	4800	5350	5900	6450	6900	7500	8000
碎石类土		4650	5250	5900	6600	7150	7500	8000	8500
极 软 岩		1300	2300	3070	3660	4240	4828	5410	6000
软　　岩		1900	3000	4000	4670	5000	5330	5670	6000

表 4　管桩侧摩阻力特征值 q_{sia} 土层埋深修正系数 $\acute{g}_s$

土层埋深 h（m）	≤10	≥20
修正系数 $\acute{g}_s$	1.00	1.32

注：1　表中 $\acute{g}_s$ 值可按 h 值内插使用；

2　土层埋深按本层土的平均埋深计算。

表 5　管桩桩端阻力特征值 q_{pa} 土层埋深修正系数 $\acute{g}_p$

桩 端 土	岩土状态	桩端入土深度 L（m）	
		≤10	≥20
粘 性 土	I_L=0.7~≤0	1.00	1.60
粉　　土	e=1.0~0.3	1.00	1.60
粉、 细 砂	$N_{63.5}$=5~40	1.00	1.70
中、粗、砾砂	$N_{63.5}$=5~40	1.00	1.50
碎石类土	$N_{63.5}$=5~40	1.00	1.25
极 软 岩	$N_{63.5}$=5~40	1.00	1.30
软　　岩	$N_{63.5}$=5~40	1.00	1.25

注：　系数 $\acute{g}_p$ 可根据深度 L 值内插使用。

3 经验参数法 2，辽宁省地方标准《建筑地基基础技术规范》DB21/907-2014，与上版规范相比，重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$ 的杆长修正系数进行了较大的调整（见本规程表 5.1.3），调整前、后的杆长修正系数比较见表 6。表 6 中，$N'_{63.5}$ 为实测动力触探击数，L 为杆长，实测动力触探击数对应表格内的

数值为调整前的杆长修正系数，括号内数值为调整后的杆长修正系数。调整后的杆长修正系数与动力触探击数无关，只与杆长相关。$N'_{63.5}$ 不大于 10 击时，调整前后的杆长修正系数基本一致，$N'_{63.5}$ 值越大，调整后与调整前的杆长修正系数比值越大，杆长为 20m 时出现最大值。如杆长 20m 时，$N'_{63.5}$ 为 40 击，则调整前、后修正后的动力触探击数分别为 16、28。当杆长大于 20m 时，调整前的杆长修正系数仍按杆长 20m 取值；调整后的杆长修正系数，随着杆长的增加而减小，杆长 50m 时杆长修正系数为 0.52 ，杆长大于 50m 时仍按杆长 50m 取值。一般埋深大于 20m 的深层砂土的实测动力触探击数 $N'_{63.5}$ 不小于 10 击，杆长为 20m 时调整前、后修正后的动力触探击数差值最大。

表 6　调整前后杆长修正系数比较表

$N'_{63.5}$ / L(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	≥50
2 (1.00)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4 (0.97)	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6 (0.92)	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8 (0.88)	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10 (0.84)	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12 (0.81)	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14 (0.78)	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16 (0.76)	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18 (0.73)	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20 (0.71)	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

按经验参数法 1 确定桩侧摩阻力特征值和桩端阻力特征值的原则，对于 10m 长的桩，桩侧摩阻力特征值和桩端阻力特征值与 2007 版规程基本一致。由于杆长修正系数不同，实测动力触探击数 $N'_{63.5}$，对应的杆长修正系数调整前修正后的动探击数 $N''_{63.5}$、杆长修正系数调整后修正后的动探击数 $N_{63.5}$ 数值不同。以 $N''_{63.5}$ 对应的桩侧摩阻力特征值表 2 和桩端阻力特征值表 3 为依据，换算 $N_{63.5}$ 对应的桩侧摩阻力特征值（见表 7）和桩端阻力特征值（见表 8）。表 7 中数值即为本规程表 6.2.6-1 中修正后的动探击数 $N_{63.5}$ 对应的管桩侧摩阻力特征值，表 8 中数值即为本规程表 6.2.6-2 中修正后的动探击数 $N_{63.5}$ 对应的管桩端阻力特征值，

表 7　桩长 10m 管桩侧摩阻力特征值 q_{sia} (kPa)

$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
$N'_{63.5}$	6	12	18	24	30	36	42	48	60	71
$N''_{63.5}$	5	10	14	17	21	24	27	30	36	44
粉、细砂	23	32	39	45	51	58	63	70		
中、粗砂	26	36	43	54	64	76	87	100		
砾　　砂	39	57	68	80	92	102	112	125		
碎石类土	44	63	77	90	102	115	127	140		
极软岩	25	34	40	46	52	58	63	70	77	
软　　岩	40	55	66	77	87	97	105	115	130	145

表 8　桩长 10m 管桩桩端阻力特征值 q_{pa}(kPa)

$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
$N'_{63.5}$	6	12	18	24	30	36	42	48	60	71
$N''_{63.5}$	5	10	14	17	21	24	27	30	36	44
粉、细砂	2480	2680	2820	2970	3100	3230	3330	3430	3680	3820
中、粗砂	3450	4100	4560	5010	5390	5620	5800	5970	6490	6750
砾　　砂	4260	4800	5220	5610	5970	6330	6600	6860	7630	8000
碎石类土	4650	5250	5740	6240	6670	7030	7270	7470	8130	8500
极软岩	1300	2300	2890	3350	3730	4110	4440	4770	5560	6000
软　　岩	1900	3000	3760	4320	4710	4930	5110	5300	5760	6000

对于 20m 长的桩，表 2 桩侧摩阻力特征值的埋深修正系数提高约 10%，表 3 桩端阻力特征值的埋深修正系数提高约 20%。表 9 为桩长 20m 时的桩侧摩阻力特征值，（ ）内数值为比 2007 版规程 DB21/T1565-2007 提高 10%的数值。表 10 为桩长 20m 时的桩端阻力特征值，（ ）内数值为比 2007 版规程 DB21/T1565-2007 提高 20%的数值。根据桩长 20m 时杆长修正系数调整前、后的 $N''_{63.5}$ 和 $N_{63.5}$ 的对应关系，得到桩长 20m 时杆长修正系数调整后的 $N_{63.5}$ 与桩侧摩阻力特征值的对应值（见表 11），将表 11 中数值除以表 7 中对应的数值可得到桩侧摩阻力土层埋深修正系数（见表 11 中（ ）内数值）。同理可得到桩长 20m 时杆长修正系数调整后的 $N_{63.5}$ 与桩端阻力特征值的对应值（见表 12），将表 12

中数值除以表 8 中对应的数值可得到桩端阻力土层埋深修正系数（见表 12 中（ ）内数值）。

表 9　桩长 20m 管桩侧摩阻力特征值 q_{sia} (kPa)

$N''_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40
$N'_{63.5}$	7	18	37	56	69	83	97	111
$N_{63.5}$	5	13	26	39	49	59	69	79
粉、细砂	27.6 (30.4)	38.4 (42.2)	49.2 (54.1)	60.0 (66.0)	72.0 (79.2)	84.0 (92.4)		
中、粗砂	31.2 (34.3)	43.2 (47.5)	55.2 (60.7)	74.4 (81.8)	96.0 (105.6)	120.0 (132.0)		
砾　　砂	46.8 (51.5)	68.4 (75.2)	85.2 (93.7)	108.0 (118.8)	129.2 (139.9)	150.0 (165.0)		
碎石类土	52.8 (58.1)	75.6 (83.2)	97.2 (106.9)	120.0 (132.0)	144.0 (158.4)	168.0 (184.8)		
极软岩	30.0 (33.0)	40.8 (44.9)	50.4 (55.4)	61.2 (67.3)	72.0 (79.2)	82.8 (91.1)	92.4 (101.6)	
软　　岩	48.0 (52.8)	66.0 (72.6)	84.0 (92.4)	102.0 (112.2)	120.0 (132.0)	138.0 (151.8)	156.0 (171.6)	174.0 (191.4)

表 10　桩长 20m 管桩桩端阻力特征值 q_{pa}(kPa)

$N''_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40
$N'_{63.5}$	7	18	37	56	69	83	97	111
$N_{63.5}$	5	13	26	39	49	59	69	79
粉、细砂	3497 (4196)	3779 (4535)	4047 (4856)	4343 (5212)	4611 (5533)	4865 (5838)	5118 (6162)	5386 (6463)
中、粗砂	4313 (5176)	5125 (6150)	5875 (7050)	6688 (8026)	7125 (8550)	7500 (9000)	8000 (9600)	8438 (10126)
砾　　砂	5325 (6390)	6000 (7200)	6688 (8026)	7375 (8850)	8063 (9676)	8625 (10350)	9375 (11250)	10000 (12000)

碎石类土	4883 (5860)	5513 (6616)	6195 (7434)	6930 (8316)	7508 (9010)	7875 (9450)	8400 (10080)	8925 (10710)
极 软 岩	1404 (1685)	2484 (2981)	3316 (3979)	3953 (4744)	4579 (5495)	5214 (6257)	5843 (7012)	6480 (7776)
软　　岩	1976 (2371)	3120 (3744)	4160 (4992)	4857 (5828)	5200 (6240)	5543 (6652)	5897 (7076)	6240 (7488)

表 11　桩长 20m 桩侧摩阻力特征值 q_{sia} (kPa)及桩长 20m 与桩长 10m 桩侧摩阻力特征值之比

$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	
粉、 细 砂	30.4 (1.320)	38.0 (1.188)	44.1 (1.137)	48.5 (1.071)	52.9 (1.033)	57.4 (0.993)	62.0 (0.978)	66.0 (0.943)			1.05
中、 粗 砂	34.3 (1.320)	42.8 (1.189)	49.6 (1.138)	54.5 (1.015)	59.3 (0.924)	66.5 (0.875)	74.7 (0.861)	81.8 (0.818)			0.97
砾　　砂	51.5 (1.320)	66.7 (1.170)	78.2 (1.157)	85.0 (1.060)	91.8 (1.000)	100.7 (0.982)	110.3 (0.980)	118.8 (0.950)			1.04
碎石类土	58.1 (1.320)	74.2 (1.178)	87.0 (1.134)	95.7 (1.062)	104.5 (1.021)	113.9 (0.985)	123.5 (0.974)	132.0 (0.943)			1.04
极 软 岩	33.0 (1.320)	40.6 (1.194)	46.6 (1.162)	50.5 (1.091)	54.3 (1.042)	58.7 (1.010)	63.3 (1.003)	67.3 (0.975)	79.2 (1.029)		1.06
软　　岩	52.8 (1.320)	65.5 (1.191)	75.8 (1.142)	83.1 (1.076)	90.4 (1.041)	97.9 (1.012)	105.5 (1.004)	112.2 (0.976)	132.0 (1.015)	151.8 (1.047)	1.06

表 12　桩长 20m 桩端阻力特征值 q_{pa}(kPa) 桩长 20m 与桩长 10m 桩端阻力特征值之比

$N_{63.5}$	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	
粉、 细 砂	4196 (1.692)	4413 (1.647)	4587 (1.624)	4705 (1.584)	4822 (1.554)	4955 (1.535)	5092 (1.529)	5212 (1.519)	5533 (1.504)	4850 (1.531)	1.56
中、 粗 砂	5176 (1.500)	5800 (1.415)	6295 (1.382)	6621 (1.321)	6957 (1.290)	7320 (1.302)	7695 (1.326)	8026 (1.344)	8550 (1.317)	9000 (1.333)	1.34
砾　　砂	6390 (1.500)	6909 (1.439)	7334 (1.406)	7637 (1.360)	7941 (1.331)	8254 (1.304)	8571 (1.298)	8850 (1.291)	9676 (1.268)	10350 (1.294)	1.33

碎石类土	5860 (1.260)	6345 (1.209)	6748 (1.175)	7049 (1.130)	7350 (1.103)	7678 (1.092)	8017 (1.103)	8316 (1.114)	9010 (1.108)	9450 (1.112)	1.13
极 软 岩	1685 (1.296)	2516 (1.094)	3142 (1.089)	3509 (1.047)	3876 (1.039)	4191 (1.019)	4485 (1.010)	4744 (0.995)	5495 (0.988)	6260 (1.093)	1.04
软　　岩	2371 (1.248)	3251 (1.084)	3945 (1.049)	4404 (1.019)	4863 (1.032)	5224 (1.060)	5545 (1.085)	5828 (1.100)	6240 (1.084)	6652 (1.109)	1.07

表 11 中最后一列数值为桩长 20m 时桩侧摩阻力特征值土层埋深修正系数的平均值，该值仅考虑 $N_{63.5}$ 不小于 10 击的数值，其值介于 0.97~1.06 之间，近似取为 1.0。2015 版规程对于淤泥质土、粘土和粉土的桩侧摩阻力特征值土层埋深修正系数也取为 1.0，即在条文中取消了桩侧摩阻力特征值土层埋深修正系数表。

表 12 中最后一列数值为桩长 20m 时桩端阻力特征值土层埋深修正系数的平均值，该值仅考虑 $N_{63.5}$ 不小于 10 击的数值。2015 版规程对于黏土和粉土的桩端阻力特征值土层埋深修正系数在 2007 版规程修正系数的基础上乘以 1.2 得到。本规程表 6.2.6-3 中的桩端阻力特征值土层埋深修正系数 $\acute{g}_{\mathrm{p}}$ 按上述方法得到。

辽宁省内的管桩基础桩长一般在 20m 以内，桩长大于 20m 时，$\acute{g}_{\mathrm{p}}$ 仍可按桩长 20m 时取值。

有的专家建议，参考其他省的规程，在我省的规程中根据土层状态（I_L、N、$N_{63.5}$）的范围值给出各种状态对应的桩侧摩阻力和桩端阻力均为范围值。这样做不方便技术人员操作，需要有丰富经验的工程师对土层的状态范围及其对应的摩阻力和端阻力作出判断后给出具体数值，不同的工程师给出的具体数值可能差别很大。现行辽宁省地方标准根据土的状态（I_L、$N_{63.5}$）值给出桩侧摩阻力和桩端阻力的具体数值，是我省规程的特色之一，方便技术人员使用。本次修订对单桩承载力适当提高，保持与原规程的延续性。

2007 版规程锤击管桩的侧摩阻力特征值与静压管桩的侧摩阻力相同，锤击管桩的端阻力特征值，桩端持力层为岩石类土层时与静压管桩相同，桩端位于其余各土层时均明显小于静压管桩的端阻力特征值。在我省应用锤击管桩较多的地区，如铁岭、鲅鱼圈、锦州等地调研时，当地的技术人员反映按原规程参数估算的锤击管桩单桩承载力明显低于试桩结果，实际工程中仍按静压管桩的端阻力特征值进行估算。广东省地方标准《锤击式预应力混凝土管桩基础技术规程》DBJ/T15-22-2008 给出的桩端阻力特征值与相同土层静压桩的桩端阻力特征值一致。所以 2015 版规程没有单独列出锤击管桩端阻力特征值表，不区分静压管桩还是锤击管桩，列出统一的管桩端阻力特征值表。

2015 版规程自实施以来，根据 2015 版规程提供的管桩侧摩阻力特征值和桩端阻力特征值估算单桩

承载力特征值与工程试桩结果有很好的吻合度，本次修订保留了 2015 版规程该部分的内容。

静压管桩的单桩承载力还可以在正式施工前通过试压桩配合复压法确定。这适用于应用静压桩多年且设计经验较丰富的地区，但不适用持力层为易软化的风化岩及沙土层的基桩。试压桩不是在设计阶段进行，一般在正式施工前进行，主要目的是验证用经验公式得到的单桩竖向承载力特征值估算值的可信度。因为在这些地区，设计者有一定的设计经验，桩端持力层、桩入土深度、终压力值及单桩承载力特征值大小等对设计者来讲一般是心中比较有底的，通过试压桩来验证一下，以确保工程质量。试压桩一般是利用工程桩来进行的。试压桩的数量，本规程规定：不宜少于总桩数的 1 %，且不得少于 5 根。这是因为每一个工地，至少可在四角及中心位置各布置一根试压桩，地质条件复杂的工地，可以多布置一些试压桩。试压桩的具体做法可参阅本规程 9.5 节的规定。试压桩配合复压法可测试单桩竖向抗压承载力，根据我省及国内其他省的经验，以试压桩沉桩完成再停歇 24 小时后复压所获得的桩身起动时的压力值可作为单桩竖向抗压极限承载力的参考值，也可用 2 倍单桩竖向抗压承载力特征值进行复压，若复压时桩身不下沉，说明这根桩的承载力可达到设计要求。这是静压桩的一大特色。这样做既快捷又安全，当然，这里不包括持力层为易软化风化岩以及摩擦型桩的静压桩基础。在易软化的风化岩场地尤其是风化岩埋藏较浅的场地，属于地层条件较复杂的场地，对这种地质条件下的静压桩基础静载荷试验的开始时间本规程定为压桩后 25 天，那么，试压桩时其复压的时间也应选在试压桩完成后 25 天，如此长的间歇时间对施工前的试压桩就会失去其意义。在这两种地质条件下，最好的方法是在设计阶段进行静载试验桩的试验。

静载试验桩或试压桩是在施工者已知该桩要被检测的情况下进行施压的基桩，工作人员一般都会精心操作，且基桩刚开始施压时，基本不发生挤土效应，这与大规模施工、群桩发生挤土效应的正式施工条件有所不同。因此，静载试验桩或试压桩时得到的极限承载力往往比实际工程中的工程桩要高一些，设计者在确定工程桩单桩承载力特征值时应注意到这一点。

对于长细比较大的以桩长控制的静压桩的单桩竖向抗压承载力特征值还可以通过复压方式来确定。一般来说，软土地区桩长比较大的（＞25m）以桩长控制的静压桩，其承载力特征值主要是靠桩侧摩阻力来得到的，桩端阻力基本上不发挥作用，可以看作是纯摩擦型桩，但这类桩的理论计算值误差较大。这类桩的单桩竖向抗压承载力特征值可通过复压方法来求得，既省事又快捷可靠。这类桩施压时，往往不是以终压力值来控制，而是以桩长来控制。当桩长设定以后，可以先用一定的压桩力将静压桩压入所设定的深度，等 24 小时以后再对此桩进行复压，复压所取得的起动压力值可作为此桩的极限承载力。用同样的方法在同一区域内再试压几根桩，所得到的检测结果，加以综合分析后便可确定这类桩的单桩竖向抗压承载力特征值。另外，当单桩竖向承载力特征值基本设定后，需要确定合理的桩长时，一般的做法是：先用 2 倍 R_a 值进行试压，可以得到首根入土深度较长的试压桩，然后再在附近试压比首根试压桩桩长短几米（最好采用分级长度）的试压桩，24 小时后再用 $2R_a$ 的压桩力进行复压，复压不动时，

可取较短桩的桩长作为正式施工的入土深度。这种方法既简单又可靠实用。这是静压桩的一大特色。这种方法一般适用于试压桩阶段，这时桩的数量不多，桩周土体内一般还不会形成较大的超孔隙水压力。如果在施工阶段大量的密集的桩经压下后，土颗粒之间的超孔隙水要过至少半个多月的时间才能消散，用 24h 后的复压力来确定单桩承载力是不准确的，往往偏大。当然，在施工阶段新施压的桩较稀疏时，这种检测方法也还是可行的。

6.2.7 ψ_c 为成桩工艺系数，行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 中的管桩成桩工艺系数取为 0.85，行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 中，当采用抱压式或锤击式施工时，ψ_c 取 0.70；当采用植入工法施工时，ψ_c 取 0.85。本规程取值与 JGJ/T 406-2017 一致。

6.2.8 管桩单桩抗拔由土的侧摩阻提供（公式 6.2.8-1），由于管桩抗拉的裂缝控制等级为一级，受拉时桩身不允许出现拉应力，按公式（6.2.8-1）计算的抗拔承载力特征值不应大于按公式（6.2.8-2）的计算值，即取两个公式计算的较小值为单桩抗拔特征值。同时还应按公式（6.2.9）计算管桩轴心拉力设计值，公式（6.2.9）主要保证管桩内的预应力钢筋不能受拉屈服。从附录 A 可见，管桩基本组合下的轴心受拉承载力设计值与标准组合下的抗裂拉力值基本相等，所以管桩桩身的受力承载力一般由公式（6.2.9）控制。

6.2.11 影响单桩水平承载力和位移的因素包括桩身截面抗弯刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束条件。对于低配筋率的桩（纵筋配筋率小于 0.65%的混凝土灌注桩），通常是桩身先出现裂缝，随后断裂破坏，单桩水平承载力由桩身强度控制。对于抗弯能力强的桩，桩身虽未断裂，但由于桩侧土体塑性隆起，或桩顶水平位移大大超过使用允许值，也认为桩的水平承载力达到极限状态，此时，单桩水平承载力由位移控制。根据第 6.1.2 条文说明，除 A 型管桩外其余各种型号管桩的开裂弯矩值均大于相同直径配筋率为 1%的灌注桩的抗弯承载力设计值，可认为是抗弯能力强的桩，对于承受水平力较大的管桩，不应采用 A 型桩。

当桩的水平承载力由水平位移控制，可用公式（6.2.11）计算管桩水平承载力特征值。桩水平承载力的大小取决于管桩的水平变形系数 α 的大小，也即桩侧土的水平抗力系数的比例系数 m 值的大小。当桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 h_m＝2(D+1)米范围内的 m 值作为计算值。2015 版规程的 m 值取自《建筑桩基技术规范》JGJ 94 — 2008 表 5.7.5，该表中同一地基土类别预制桩的 m 值明显低于灌注桩的 m 值。管桩沉桩的施工过程属于挤土桩，概念上 m 值不应低于灌注桩的 m 值。在沈阳选择主要影响深度范围内为软塑状态的粉质黏土的 5 根试验桩和主要影响深度范围内为可塑-硬塑状态的粉质黏土的 3 根试验桩，桩型 HPC500-AB-100，进行单桩水平承载力试验，试验结果如下表：

软塑状态的粉质黏土的 5 根试验桩水平承载力试桩结果

试桩序号	试桩号	桩径/桩长（mm）	极限荷载（kN）	位移 6 mm 对应荷载（ kN ）	单桩水平承载力特征值取值（kN）
1	1#	500/10000	66	60	45
2	2#	500/10000	60	54	40.5
3	3#	500/10000	48	42	31.5
4	4#	500/10000	48	42	31.5
5	5#	500/10000	48	42	31.5

可塑-硬塑塑状态的粉质黏土的 3 根试验桩水平承载力试桩结果

试桩序号	试桩号	桩径/桩长（mm）	极限荷载（kN）	临界荷载（kN）	位移 10 mm 对应荷载（ kN ）	单桩水平承载力特征值取值（kN）
1	1#	500/28000	425	---	336	252
2	8#	500/28000	395	295	298	221
3	9#	500/28000	420	320	312	234

由公式（6.2.11）反推 m 值，软塑状态的粉质黏土的 5 根试验桩的平均 m 值为 5.41MN/m^4，可塑-硬塑状态的粉质黏土的 3 根试验桩的平均 m 值为 77.20MN/m^4。中国建筑科学研究院地基所的高文生研究员对粉质黏土中的 PHC 管桩的水平承载力进行了足尺试验研究，结论为“相同直径的管桩与灌注桩的水平承载力临界值、极限值基本相同”。由于本次试桩数量有限，参考高文生研究员的研究成果，对表 6.2.11-2 中的 m 值做如下调整：序号 1、2 的土层不调整，与 JGJ 94 — 2008 一致；序号 3、4 的土层 m 值提高约 1 倍，但仍低于灌注桩的 m 值（）内值为灌注桩的 m 值。表 6.2.11-2 用于水平承载力的估算，工程中应试桩确定。

表 6.2.11-2　桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 值

序号	地　基　土　类　别	管　　桩	
		m（MN/m^4）	相应桩顶面处水平位移（mm）
1	淤泥，淤泥质土、饱和湿陷性黄土	2.0～4.5	10
2	流塑（I_L>1）、软塑（0.75< I_L≤1）黏性土，松散粉土，松散粉细砂，松散或稍密填土	4.5~6.0	10
3	可塑（0.25< I_L≤0.75）黏性土，稍密粉土，中密填土，稍密	12~20	10

	细砂	（14~45）	
4	硬塑（0< I_L<0.25）、坚硬（I_L≤0）黏性土，中密或密实粉土，中密中粗砂，密实老填土	20~50 （35~100）	10

6.2.12 保留 2015 版规程该条文说明。行标 JGJ/T 406 — 2017 也全条文采纳了 2015 版规程该条文的内容。2007 版规程没有给出管桩抗剪承载力计算公式，设计时按图集 10G409 提供的公式计算管桩抗剪承载力，该公式为 $R_v = \frac{tI}{S_0}\sqrt{(\sigma_{ce} + 2\times_t f_t)^2 - \sigma_{ce}^2}$，应用该公式时有如下问题需要解决：

1 该公式仅考虑预应力和混凝土的贡献，没有考虑箍筋的作用；

2 工程中经常需要截桩，截桩后预应力传递段的抗剪承载力无法计算；

3 工程中对于截桩部位的处理方法是截桩后采用灌芯混凝土与承台连接，截桩灌芯部位的抗剪承载力无法计算；

4 工程桩一般处于偏压状态，该公式没有考虑剪跨比对受剪承载力的影响。

为此，编制组委托天津大学对 PHC 管桩抗剪性能进行试验研究（详见《预应力混凝土管桩抗剪承载力研究报告》。研究内容包括（1）考虑不同因素影响的 PHC 管桩抗剪承载力计算公式；（2）截桩对不同型号 PHC 管桩抗剪承载力的影响；（3）截桩后填普通混凝土芯对 PHC 管桩抗剪承载力的影响；（4）截桩后填带膨胀剂的混凝土芯对 PHC 管桩抗剪承载力的影响。 研究目的是针对常用管桩型号在不同情况下的抗剪性能进行试验分析，提供 PHC 管桩抗剪承载力的建议计算公式和 PHC 管桩在截桩、填芯情况下的抗剪性能变化规律，为编制辽宁省桩基技术规范提供参考。根据研究内容和研究目的，试验研究分为两部分：PHC 管桩抗剪承载力公式试验研究与截桩、填芯工艺对 PHC 管桩抗剪性能影响试验研究。两部分试验涉及不同直径、不同壁厚、不同有效预压应力的管桩共 25 根。

研究结果提出了 PHC 管桩斜截面抗剪承载力计算公式、考虑截桩影响的修正公式、以及填芯 PHC 桩抗剪承载力计算公式。分别表述如下。

1）PHC 管桩斜截面抗剪承载力计算公式：

$$V_u = \frac{2}{\lambda}\frac{2tI}{S_0}\frac{1}{2}\sqrt{\left(\sigma_{pc} + 2f_t\right)^2 - \sigma_{pc}^2} + \frac{\pi}{2}f_{yv}A_{sv1}\sin\alpha\frac{D}{s} \qquad (1.5 \le \lambda \le 3.0)$$

2）截桩修正公式：

$$V_u = \frac{2}{\lambda}\frac{2tI}{S_0}\frac{1}{2}\sqrt{(\mu\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - (\mu\sigma_{pc})^2} + \frac{\pi}{2}f_{yv}A_{sv1}\sin\alpha\frac{D}{S}$$

$(1.5 \le \lambda \le 3.0)$

3）填芯 PHC 桩抗剪承载力计算公式：

$$V_{\mathrm{u}} = \frac{2}{\lambda}\frac{2tI}{S_0}\frac{1}{2}\sqrt{(\mu\sigma_{\mathrm{pc}} + 2f_{\mathrm{t}})^2 - (\mu\sigma_{\mathrm{pc}})^2} + \frac{\pi}{2}f_{\mathrm{yv}}A_{\mathrm{sv1}}sin\alpha\frac{D}{S}$$

$(1.5 \le \lambda \le 3.0)$

$$V_{\mathrm{cs}} = 0.7f_{\mathrm{t}}bh_0 + f_{\mathrm{yv}}\frac{A_{\mathrm{sv}}}{s}h_0$$

$$V = V_{\mathrm{u}} + V_{\mathrm{cs}}$$

为方便计算，修订的规程将剪跨比取为 2.85；填芯混凝土的抗剪承载力不考虑箍筋的作用，同时考虑剪跨比的影响，得到本条适用不同条件的三个计算公式。附录 A 列出按三个公式计算的管桩桩身抗剪承载力设计值，供使用者选用。

6.2.17 现行《建筑桩基技术规范》JGJ94 给出桩中心距不大于 6 倍桩径的群桩基础，单桩、单排桩、疏桩基础的桩基沉降计算公式，现行《建筑地基基础设计规范》GB50007 给出按实体深基础计算群桩基础沉降的计算公式。JGJ94 给出的公式考虑了桩数、承台长宽比、桩的距径比、长径比等因素对基础沉降的影响，更能反映桩基的实际变形情况。实体深基础法则不能反映上述因素对基础沉降的影响，而且桩底面处的计算应力偏大，导致基础沉降计算值偏大。

编制组对铁岭星悦南岸 12 层高层住宅某柱下独立桩基础进行了沉降对比分析。承台底荷载准永久组合值为 9000kN,承台尺寸为 3.2m x 3.2m，承台下为 9 根直径 400mmAB 型 PH C 管桩，桩长 10m，桩端持力层为深厚密实砾砂层，持力层以上为黏土层。分别采用 GB50007 附录 R 给出的实体深基础计算方法、采用明德林公式方法、JGJ94 给出的等效作用分层综合法，进行该独立桩基础的沉降计算，计算值分别为 29.53mm、21.26mm、14.22mm。根据当地的经验，该独立桩基的沉降约在 10mm~14mm 之间，实体深基础计算方法明显偏大，JGJ94 给出的等效作用分层综合法沉降计算值比较合理，桩基础沉降计算时应首选该方法。由于实体深基础计算方法比较简单，对于以端承型桩为主的基础也可采用该方法估算沉降量。

6.2.18 我省大部分桩基工程为摩擦端承型桩，根据上世纪 80 年代的实测资料，采用桩基的建筑沉降速率均匀，绝对沉降也是均匀的，对于预制桩，相同荷载条件下，实际桩基沉降是试验桩沉降的 2.7~4.1 倍。采用管桩基础时，这方面的经验还不足，参考以前的混凝土预制桩基础给出管桩基础的沉降参考值，作为设计参考。

6.3 构造要求

6.3.1 6.3.1 条及 6.3.2 条是关于管桩顶部与承台之间联结结构作出的一系列规定，6.3.1 条适用于承压桩，6.3.2 条适用于抗拔桩。无论承压桩及抗拔桩，管桩桩顶均应设置填芯混凝土，主要是用于插筋的锚固，有利于桩和承台连接的简化，同时从整体上改善桩顶部位桩身的抗剪、抗弯、抗破损能力。对于承压桩统一采用截去桩头后用桩顶填芯混凝土中埋设连接钢筋的连接方法（详见附录 A）；对于抗拔桩提供两种做法（详见附录 A）：桩顶不截桩时与承台连接方法，桩顶截桩时与承台连接方法。采用桩顶不截桩时与承台的连接方法时，如果拉力较大，还应验算端板的厚度，使其满足受力要求，必要时还应在管桩内设置端板锚固钢筋；也可以采用桩顶截桩时与承台连接方法。如果用连接钢筋作为抗拔桩的受力钢筋，则填芯混凝土的深度、连接钢筋的总横截面积，应按本规程 6.3.2 条的有关规定进行计算。此法在广东许多管桩基础作为抗拔桩应用的工程中经过试验和试用，效果良好。桩顶填芯混凝土长度与连接钢筋的长度相同，一般的做法是用 3～5mm 厚的钢板做成一个圆形的托盘，托盘的作用是挡住填芯混凝土不下落到桩底，托盘的直径应比管桩内径小 20mm 左右（以能放入管桩内孔为准），然后将连接钢筋的钢筋笼垂直焊在托盘上，施工作业时，先将管桩顶部内孔清洗干净，将钢筋笼连同托盘小心地放入管桩内孔，放入深度应根据承压桩和抗拔桩的设计深度而定，然后临时固定钢筋笼，再灌入填芯混凝土至管桩顶面，用混凝土振动棒振动密实，填芯混凝土应是无收缩混凝土，一般采用掺微膨胀剂的混凝土。填芯混凝土的施工质量与整个管桩基础的质量紧密相联，故一定要精心施工，保证质量。

6.3.2 抗拔桩的桩顶填芯混凝土长度和连接钢筋总横截面积的经验计算公式。抗拔桩填芯混凝土的抗剪强度由于管桩内壁或多或少存在着一层浮浆层而离散性较大，加上管桩尤其是小直径管桩的内孔直径较小，填芯混凝土施工环境差，质量稳定性也差，故填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值，宜由现场试验确定。当缺乏试验资料时，规程提出：C30 掺微膨胀剂的填芯混凝土 f_n 可取 0.30～0.35MPa，以上建议值是通过一些抗拔试验资料反算出来的，是留有一定的安全储备。当然，若填芯混凝土的施工质量较差，取 f_n=0.30MPa 也会有问题。所以前提是填芯混凝土的质量要达到设计要求。

6.3.3 省内已有多个工程采用补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土，取得了较好地效果，本条根据省内的工程经验对混凝土的限制膨胀率和限制干缩率提出控制指标。膨胀率过大，影响填芯混凝土的强度，也会对管桩内壁产生环向压力，使桩头处于复杂受力状态，导致桩头劈裂。膨胀率过小，补偿不了混凝土的干缩，填芯混凝土与管壁间结合不紧密，不能传递拉力。在确定了限值膨胀率和限值干缩率后，生产补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土时，采用膨胀剂的品种和数量应通过试验确定，试验应按 GB50119 的有关规定执行。

6.3.4 省内的管桩基础一般桩长较短，接头数量不超过 2 个，接头多采用焊接接头，机械啮合接头

近几年在工程上应用逐渐增多，本条仅对焊接接头提出规定，对于机械啮合接头做法可参考国内其他省地方标准的规定。符合本规程第 9.1.8 条规定的焊接接头可以满足与桩身等强的要求。

6.3.5 基桩作为承受拔力的抗拔桩，采用电焊焊接接头时，焊接质量不能完全得到保证，焊缝坡口要比承压桩大一些，留有安全裕量，故抗拔桩的焊缝坡口尺寸应适当加大，需要特制。

7 复合桩设计

7.1 水泥土劲性复合桩

7.1.1 本节规定的劲性复合桩是 PHC 管桩与水泥土搅拌桩相复合的一种桩基础类型，有利于改善内芯桩侧土体的性能，提高单桩竖向和水平承载力。等芯复合桩是指内外芯长度相等，内外芯底在同一标高的劲性复合桩，长芯复合桩是指内芯进入土层深度大于外芯的桩型。劲性复合桩外芯桩底以上部分均应进行水泥土搅拌处理。劲性复合桩适用范围应符合现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中关于水泥土搅拌桩的相关规定及本标准关于管桩的相关规定。

劲性复合桩桩长应根据工程要求和工程地质条件通过计算确定，作为桩基础时应穿透软弱土层，且桩长不宜小于 6m。当穿越厚度较大的淤泥层、承台底部有可液化土层时，应考虑稳定性及对承载力的影响。

7.1.3 外芯厚度是指外芯桩桩体外缘减去内芯桩桩体外缘的最小值位置的厚度。规定外芯厚度的目的是为了发挥复合段的功能效果，减小桩位偏差和垂直度偏差而产生的不良影响，外芯厚度不宜小

于 150mm。但外芯厚度也不能过大，过大会失去符合效果。

外芯水泥土强度对复合桩破坏位置及承载力影响很大，强度过低无法发挥劲性复合桩的优势。强度太高又难以实现。因此设计前应进行桩侧土的室内配比实验。这对现场拟处理土层的性质选择合适的水泥强度及掺量，为设计提供不同龄期、不同配比的强度参数。对竖向承载的水泥土强度取 90d 龄期试块的立方米抗压强度平均值。

7.1.6 劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定；当按照本条进行估算时，考虑了两种破坏模式，即内芯与外芯之间接触面破坏以及桩周土破坏。由于我省进行劲性复合桩实际工程较少，本条中公式及参数参考现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327-2014 和建华建材（中国）有限公司企业标准《搅拌植桩技术标准》Q/THJC 00 3002-2020，并结合辽宁省地方标准《建筑地基基础技术标准》 DB21/T 907 相关规定给出的。

7.2 机械成孔劲性复合桩

7.2.1 机械成孔劲性复合桩与本标准 7.1 节劲性复合桩的主要区别是外芯的成孔工艺不同，是预先采用长螺旋钻机或旋挖钻机成孔，孔内灌注强度等级不小于 C20 混凝土，并将环形截面管桩锤击或静压沉入其中形成的桩。

7.2.3 外芯采用长螺旋钻机或旋挖钻机时，插入管桩不会产生挤土效应，因此桩距可取内芯的 3d

7.2.4 机械成孔劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定；当按照本条进行估算时，无论采用长螺旋还是旋挖工艺，外芯与内芯的结合强度很高，不会产生相对运动，因此仅需进行桩周土破坏面的计算。由于我省进行劲性复合桩实际工程较少，本条中公式及参数参考建华建材（中国）有限公司企业标准《旋挖植桩技术标准》Q/THJC 00 3001-2020，并结合辽宁省地方标准《建筑地基基础技术标准》 DB21/T 907 相关规定给出的。

8　复合地基

8.1　一般规定

8.1.1、**8.1.2** 管桩复合地基既适用于工业厂房、民用建筑，也适用于堆场及道路工程。近年来，以管桩作为竖向主要劲性增强体的多桩型复合地基在地基处理工程中得到广泛应用。例如，在湿陷性黄土地区，先采用挤土的灰土桩处理湿陷性，再施工管桩形成复合地基或作为桩基。在可液化土地区， 先采用碎石桩挤密消除湿陷性，再施工管桩形成复合地基或作为桩基。管桩施工方法的选择应尽量减少对环境的影响。

8.1.3 处理浅部存在的软土、欠固结土、湿陷性黄土、可液化土时，处理效果应满足国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JCJ 79 和《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的相关规定。地基中有多层承载力和压缩模量相对较高的土层时，可采用长桩与短桩组合的管桩复合地基方案。长桩应选择承载力和压缩模量相对较高的土层作为管桩桩端持力层，短桩宜穿越浅层软弱土层；

8.2　设　计

8.2.1 管性桩复合地基的承载力特征值应通过复合地基的现场载荷试验确定。本经验公式可用于方案或初步设计时的估算。单桩承载力发挥系数λ、桩间土天然地基承载力折减系数β宜按当地经验取值，一般当沉降量较大、桩和土的承载力充分发挥时取较大值，反之可取较低值。

8.2.2 管桩复合地基需要设置褥垫层，其厚度需要根据桩的间距或置换率、桩的竖向变形刚度、上部结构对沉降的要求等综合确定。根据工程经验，褥垫层厚度宜为桩径的 40％～60％，厚度在 150~300mm 为宜，当桩径大、桩距大、土层压缩性高时，褥垫层厚度取大值，反之取小值。

褥垫层的作用：（1）确保桩与土同时、直接、共同承担荷载；（2）通过改变褥垫层厚度，可调整桩、土垂直荷载的分担比，褥垫层越薄，桩分担荷载越多；（3）减少基础底面的应力集中：当褥垫层厚度为零时，桩对基础的应力集中很显著，和普通桩基础一样；当褥垫层达到一定厚度时，基底反力即为天然地基的反力分布；

褥垫层材料宜采用中粗砂（含泥量不得大于 5%）、灰土、级配砂石或碎石，级配砂石的最大粒径不宜大于 25mm，碎石的粒径在 5mm~16mm，不宜采用卵石。褥垫层施工应分层压实，分层厚度不大于 200mm，厚度偏差不应大于±20mm；褥垫层的铺设宜采用静力压实法，夯填度（夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值）不得大于 0.9。

9 管桩基础施工

9.1 一般规定

2007 版规程在编制时，提出管桩基础施工中常遇的 13 个问题，并对产生问题的原因进行了剖析，提出解决问题的办法。对管桩基础的施工起到了很好的指导和规范作用，使管桩基础的施工有章可循，保证了施工质量。2015 版规程修订时，我省应用的管桩基础大部分为静压管桩基础，缺少锤击管桩的工程经验，关于锤击管桩基础施工的条文较少，近几年锤击管桩基础的应用逐年增多，积累了一定的施工经验，管桩劲性复合桩、管桩复合地基也开始在工程中应用。本次修订对于管桩基础施工中的共性问题在“一般规定”中提出条文规定。

9.1.5 送桩前，应先测出桩身的垂直度，检查桩头质量，合格后立即送桩，要求压桩、送桩作业应连续进行，中间停歇时间不宜太久，否则，桩身四周土体固结，送桩就难以进行。当场地上多数桩较短（≤16m）或桩端持力层为易软化的风化岩时，送桩深度不宜超过 1.0m，主要原因是这些桩基工程可能需要复压，准备复压的桩基工程送桩深度就不能太深。除此之外的静压桩工程，送桩深度可超过 2.0m，最大允许送 6m。因为静压桩送桩时采用的是静压力，送桩器和工程桩桩头的接触面比较平稳。锤击桩送桩施工时，送桩器下端部与工程桩桩头接触面是有离有合的，送桩器处于跳动

状态，如果桩头已浸入淤泥软土中，在这样的土况下锤击送桩，桩头容易破损。所以锤击桩送桩深度规定不宜超过 2.0m，而静压桩送桩深度可允许达 6.0m，不允许再往下送，送得太深的弊病有：一是承载力难以保证，二是送桩器是保持垂直状态，而工程桩若有 1%的垂直度偏差，容易引起接触不良而产生偏压；三是拔出送桩器比较困难。送桩时的最大压桩力不宜超过桩身抱压允许压桩力的 1.1 倍，目的是保护桩头，过大的压桩力，桩头容易破裂。

锤击送桩的最后贯入度应比同一条件下不送桩时的最后贯入度小一些，才能达到同样的承载力。因为送桩器是套在桩头上的，两者的连接是非刚性的，锤击能量在这里的传递不顺畅，损失较大，同一大小的冲击能量，直接作用在桩头上，测出的贯入度大一些，装上送桩器施打时，测出的贯入度就小一些。所以送桩的最后贯入度标准需要作一定的折减修正。在一般工程地质条件下送桩，修正系数一般可取 0.8。在大多数情况下，收锤贯入度控制在每阵 20～30mm，按 0.8 修正，差额为 4～6mm。

9.1.6 这是根据我省和全国各地的实践经验总结出来的，减少沉桩所引起的振动、挤土影响的技术措施，这些技术措施主要是从施工角度考虑的，此外，也可从设计方面进行考虑，如合理选择桩径；适当加大桩间距；选择较好的持力层，以提高单桩设计承载力减少用桩数量等。最近还有采用泄压孔的办法减轻挤土效应，每隔一定的间距钻一定直径和深度的圆孔后再沉桩，取得了较好地效果。泄压孔孔的直径、孔深及数量应由设计、施工、监理、业主单位共同协商确定，应通过现场试验确定所需参数。软土地区的挤土效应不可忽视，例如：沈北地区某工程采用静压管桩基础，基坑边缘距原有二层独立基础建筑 20 多米远，施工结束后发现部分独立基础上抬，导致地梁及墙体开裂。

9.1.7 引孔沉桩法是减轻挤土效应常用的一种有效方法，也可以采用引孔法穿越坚硬夹层增加桩的入土深度。我省主要采用长螺旋钻进行引孔，施工操作中经常发生引孔的垂直度不宜保证，导致管桩偏斜。采用该方法时引孔的垂直度宜控制在 0.5%以内。

9.1.8 第 4 款列出由两个焊工对焊时各种常用管径的每个管桩接头的施焊时间，目的是要有效控制焊接质量。规程要求焊接时间不宜过短也不宜过长，焊接时间过长的情况较少出现，目前施焊中焊接时间过短是普遍存在的问题。有些工地为了抢时间、减少电焊成本，可以不顾焊接质量，草草了事，三五分钟就将一个 ϕ400 或 ϕ500 的管桩接头焊完。所以，定出一个电焊时间的规定，便于操作人员自我控制，也便于监理工程师旁站监理。第 6 款是关于电焊结束后冷却的时间规定。这个问题一直是大家关注的问题，原规程规定自然冷却时间不宜少于 8min，是因为考虑到高温的焊缝遇到地下水，如同淬火一样，焊缝容易变脆而被打裂。后经研究，认为现场焊缝一般温度不超过 800°C，与淬火性质不完全相同，且此条规定在执行过程中，能完全做到自然冷却 8min 的打桩队并不多，但国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202-2002 关于先张法预应力管桩质量检验标准中的“电焊结束后停歇时间＞1.0min”的规定，显然是比较笼统，不宜具体操作，特别是停歇时

间定为 1～2min，与“焊好即打”无多大区别。所以，经综合考虑和广泛征求意见，确定手工焊接的自然冷却时间不应少于 5min，但二氧化碳气体保护焊所用焊条的直径细，散热快，所以确定其自然冷却时间为不应少于 3min。

9.1.9 只有封口型桩尖，才能灌注混凝土进行封底。桩尖焊接质量要有保证，应做到焊缝连续饱满不渗水。多数情况下采用封底混凝土对保证管桩的承载力有好处。

9.1.15 这是对基坑围护结构和压桩施工两者先后顺序所作的具体规定，常规的做法是先压桩后做围护结构再开挖土方，否则会造成以下影响：

1 挤土会对围护结构直接产生挤压力，严重的可以将围护结构挤坏，降低甚至破坏围护结构的档土止水作用；

2 容易引起先施压的桩基桩体上浮倾斜等工程质量事故；

3 会使基坑内的土体孔隙水压力骤升且难以在短时期内消散，以致日后开挖基坑土方时，先挖的土坑就成为超孔隙水压力释放的目标，导致土坑四周土体和桩基向土坑中心倾斜。

但考虑送桩深度最多允许送到 6m，而大面积、多层地下室的工程又不断增加，若先压桩再做围护结构，势必产生送桩深度过大和余桩截除量较大的问题，也给土方开挖带来许多不便。所以，也可采用先做围护结构、挖去部分基坑内土方后再压桩施工的做法。但要求软土地区应作详细的可行性研究后再确定合理的施工顺序，并应采取有效措施减少压桩陷机和压桩挤土效应所产生的各种不利影响，同时加强对围护结构和四边环境的监测。

9.1.15 基坑开挖包括地下室基坑的开挖和承台基坑的开挖。在这十年内，由于基坑土方开挖不当而引起大规模基桩倾斜甚至被折断的严重事故屡有发生。有的设计、施工人员对软土地区基坑的开挖难度和严重后果认识不足，未作足够的思想准备，未采取必要的技术措施。大多数事故是发生在挖土操作人员的野蛮施工中，如有的挖土操作工贪快图方便，挖土时拼命集中在一个点上进行土方开挖，基桩两边土体高差相差不是 1m，而是 3～5m，从而很快使附近基桩倾斜。所以，本条作了非常具体的规定。尤其是在深厚淤泥等软弱土层中的基坑开挖土方时，本条第 6 款提出了三条技术措施：一是宜采用人工开挖；二是采取地基加固处理后再用机械开挖；三是将静压桩之间用钢构件连接起来，形成一个类似的构件空间体系，阻止基桩倾斜。采用人工开挖，分层出土，是最为安全可靠，但费时较多，出土效率较低，且劳动人工不易解决。可以采用一种在基坑底部用深层搅拌桩按隔栅式布置的地基加固方案，搅拌桩长度可为 3～5m，于是桩与桩之间有一定的侧向支撑，不容易倾斜，并且基坑低地面强度较高，小型的挖土机可以在其上面作业。另外，在基坑内压桩之前进行有效的地基处理，压桩完成后，因桩周土体较密实，且土体开挖深度也较浅，容易保证桩基的工程质量。这样做，虽然多花费一些成本，但能使基坑开挖工作顺利进行，也是值得的、必要的。

9.1.16 辽宁地区管桩基础的截桩现象较普遍，但通过合理地配置桩长，可以减小截桩现象的发生。管桩接头处是薄弱环节，抗弯、抗剪能力都较弱，耐久性也不好，如果焊接又不好，接桩位置又都在同一标高处，是个质量隐患，因此，在多桩承台下接桩，最上一段桩应尽量采用长桩。在软土地区因地表土质软弱，管桩上端要承受更大的水平荷载，而且临界深度较大，因此本款明确规定最上一节桩宜错位接桩。

9.1.20 辽宁地区的管桩基础很少使用桩尖，所以本节仅作定性规定，但意在逐渐推广。

1 现场试验和以往的工程应用中也发现，砂土、碎石土持力层上的开口型和平底型试桩承载力往往很高，一般均超过按规范参数提供的单桩承载力，说明平底型管桩提供的端阻力要比尖底大一些，穿透能力也要相对弱一些。但开口型管桩也容易发生质量问题，在地表采用碎石和建筑垃圾加固的场地施工时，管桩内往往形成不了土塞，到达持力层后终压力较高。但由于砂层中的地下水具有承压性，在承压水头和超静孔隙水压力作用下，桩底的砂层会被地下水逐渐掏空，因此对单桩承载力有很大的影响。

2 根据我国南方地区经验，圆锥形桩尖穿越砂层能力较强，但遇地下障碍物或软硬不均的地层时容易倾斜；十字形桩尖破岩能力强，且加工容易，宜用于风化岩层中；棱锥型桩尖刚度大，穿越岩土层能力强，适用于需要穿越较厚砂砾层的桩基础；开口型桩尖不等于不设桩尖，开口型桩尖刚性强，导向性好，穿越密实砂层的能力强，在直径＞500mm 的管桩基础使用中还可以减少桩的挤土上浮。

3 省内已有厂家生产混凝土密封桩尖，与管桩连在一起进入高压釜蒸养，其止水性能好，耐腐蚀能力强，适宜在软土地区和强腐蚀性环境下使用。

4 使用桩尖对增加入土深度、提高成桩质量和耐久性都有一定好处，广东管桩规程已明确规定管桩必须使用桩尖。随着我省经济发展水平的提高，对工程质量的重视程度也相应提高，采用桩尖也将为大家所接受，因此本规程将桩尖单列一条款，加以重视和推广。

9.1.17 本条是针对辽宁省寒冷气候条件特点专门规定的。根据沈北地区的试验资料，上冻前施工的管桩在来年进行静载荷试验时，承载力往往达不到设计要求或 Q-s 曲线出现很明显的反弯点，说明地基土的冻胀力对管桩基础会产生一定的影响。软土地区冻深范围内的地基土往往具有很强的冻胀性，且桩侧土层的摩阻力较小，所以应重点加以注意。

9.1.18 本条也具有地方特色，冬季管桩的价格相对较低，软土面层在冬季施工可以避免面层加固处理，而且施工速度较快。但在春天冻土融化期，由于场地翻浆，更容易陷机引起管桩拉裂，所以应避开这一时段。

9.3 液压式静力压桩机具

9.3.2 整机的额定压桩力即最大压桩力也是设计、施工、监理等技术人员最需了解的数据，要防止“小机压大桩”的弄虚作假行为；弄清校正和测量后的压力表读数与压桩力的对应关系非常重要，我们只能通过压力表的读数，换算成压桩力，通过压桩力的大小，可以判断压桩所穿越的岩土层性状，估算静压桩的单桩承载力等。

9.3.3 保证压桩机的压桩力能达到终压力值是静压桩施工的基本条件。压桩机的压桩力靠压桩机的自重和配重作为反力来达到的。因此，压桩机上的每件配重的重量应是真实的，因此事先需要核实，并在该件配重的外露表面上进行标记，使施工人员和监理人员便于清点计算。液压压桩机的最大压桩力就是机重加配重总量的 90%。其中 10%重量相当于二只短船型履靴的重量，这两只履靴，在施加终压力的任何情况下都不允许与长船型履靴一起脱离开地面，因此起不到作反力装置的作用，故必须扣除。

9.3.5 静压桩送桩器与锤击桩送桩器是不相同的。锤击桩送桩器要求在送桩器底部设有套筒，使用时在套筒内需放置垫层；而静压桩送桩器底部一般不设套筒，只要求送桩器横截面外廓形状与静压桩横截面外廓形状相一致，且端面平整，并与送桩器中心轴线相垂直，施工送桩时，一般都要求连续作业，送桩器端面与静压桩顶面可以调整到重合，但复压时所用的送桩器，应采用端部设有套筒的送桩器，以便使送桩器中心线和复压桩中心线相重合并且可在套筒内加装弹性垫层。以往，有些压桩工地，将工程用桩当送桩器应用，用过之后，仍将此节桩当作工程桩使用，殊不知这节桩桩身往往有破损。所以，本条明文确定：施工现场应配备专用送桩器，不得采用工程用桩做送桩器。有的施工单位，到管桩厂定制一节预压应力值较高的管桩，作来用送桩器，只要后来不将此节桩用作工程桩，也是允许的。

9.3.6 当工程桩的边桩离已有建筑物或障碍物太近时，需要用压边桩机构来施压。此时应注意二点，①在选择压桩机时，就要求选有配备压边桩机构的压桩机；②若用压边桩机构装置来施压工程桩，桩的直径和承载力均应减少，桩数应增多，因此设计布桩时就应考虑到这一点。

9.4 锤击式打桩机具

9.4.1 打桩机由打桩架、行走机构、卷扬机、打桩锤等组成。打桩架有万能打桩架、三点支撑桅杆式和起重机桅杆式等型式。行走机构分滚管式、轨道式、步履式和履带式四种。打桩锤有柴油锤、液压锤、自由落锤之分。三点支撑履带自行式打桩机行走调头方便，垂直度控制较好，打桩效率高，应优先选用。液压打桩锤没有油烟污染、打桩噪声比柴油锤小得多、锤击能力大等优点，将会在今后被大力推广应用。打桩架必须和所挂的打桩锤相匹配。

9.4.2 柴油锤爆发力强，锤击能量大，工效高，锤击作用时间长，打桩应力峰值不高，落距可随桩阻力的大小自动调整，人为掺杂因素少，因此，较适用于管桩的施打，但打桩会引起油烟、噪声、

振动等污染，故在城市内受到限制使用，但在市郊、农村、新开发区等地方，打桩作业还普遍存在。液压锤的使用在大陆还刚刚起步。“重锤低击”指的是在相同锤击能量的条件下应优先选用冲击体大一些的锤，以便在实际作业过程中采用小一些的落距，这样作，不仅贯入力强，桩身桩头也不易破损。本规程附录 L 选择打桩锤参考表，其中选择柴油锤部分是多年施打管桩的经验总结，但由于近几年来，出现“大锤打小桩”、“大桩帽套小桩帽”、“一锤打天下”的不规范做法，参考表中将锤的规格型号与管桩直径对应，做到“桩锤匹配”。

9.5 静力压桩

9.5.1 这条是对试压桩的有关规定，包括试压桩的数量、选点等。试压桩一般是在正式施工前进行的，但其做法也适用于设计阶段的静载试验桩。试压桩应经过 24h 停歇后进行复压，目的是探测该桩周地基土的固结能力，粗估桩的竖向抗压承载力，一般来说，复压所测到的桩身起动时的压力值可作为单桩竖向抗压极限承载力的参考值，其原理可参见本规程 6.1.6 条的条文说明。

9.5.3 目前我省乃至全国，用得最多的压桩机是全液压抱压式压桩机。它是用压桩机上的夹持机构抱住桩身再通过液压作用让夹持机构上下移动，从而把桩身压入地基土中。夹持机构抱住桩身对桩身施加多少抱压力，目前还未有精确的计算方法。因此，采用一个“桩身抱压允许压桩力”的概念来粗略控制抱压式压桩机压桩作业施加的最大压桩力，目的是为了保护桩身免受太大的抱压力夹坏桩身混凝土。

桩身抱压允许压桩力的经验计算公式是按照广东省标准的规定引用来的。有些工地，为了穿越厚砂层或为了使短桩的承载力达到一个较高的设计值而不惜增大压桩力，结果将桩身夹裂，或使静压桩桩头产生竖向裂缝，为此，必须限制抱压压桩力值，以ϕ400—95 PHC 桩为例，其抱压允许压桩力约为 3100 kN，送桩时可以增大 10%即 3400kN；ϕ500—125 PHC 桩，其抱压允许压桩力约为 5000 kN，送桩时可增大 10%即 5500 kN。这是我省用得最多的两种静压桩型，当ϕ400-95 PHC 桩压桩力不超过 3400kN、ϕ500-125 PHC 桩不超过 5500 kN，桩身基本完好，若超过这个值，桩身就会有破损的可能。

9.5.6 本条是关于终压标准的确定原则和方法。终压标准有点类似于打桩的收锤标准，主要的定量控制指标是：终压力值、终压次数和稳压时间。稳定时间一般规定为 3～5s，所以实际上只有终压力值和终压次数这二项。确定终压标准最好的方法就是现场试压桩，也可参考类似工地的经验做法，或通过本规程附录 H 的经验公式来估算所需的终压力值。终压次数一般不宜超过 3 次。靠增加终压次数来提高静压桩的承载力，是得不偿失的一种做法，终压次数太多，承载力并没有太多的增长，反而容易引起桩身和压桩机的破损。当然，对施压入土深度小于 9m 的短桩，本规程允许终压次数可增至 3～5 次。稳压时间是指终压时每次用终压力值持续稳压的时间，不宜太长，一般应控制在 3～

5s。稳压时间太长，压桩机上高压油泵和油管很快破损，另外，增长稳压时间，对单桩承载力的增加并不起多大效果，因为这些都是瞬间压力，倒不如增大终压力值，反而能起到一点增载的效果，但终压力值受桩身抱压允许压桩力的限制，又不能无限增加，所以，工程师的责任就是要掌握一个度，取一个合理的终压力数值。

9.5.7 本条是无类似工程施工经验时可作参考的终压标准。分两类：对于以桩长控制的摩擦型静压桩，应按设计桩长进行终压控制，终压力值只作为参考。如何通过试压桩更合理地选定实际桩长，可参阅本规程 6.1.6 条的条文说明。对于选择持力层的端承摩擦桩或摩擦端承桩，终压标准与单桩设计承载力、桩的入土深度、桩周土的性质有很大关系，本条提出的终压力值就是根据本规程附录 H“静压桩竖向抗压极限承载力与终压力的经验关系公式”推算出来的。由此可见，桩长小于 16m 的桩，其终压力值与单桩竖向抗压承载力特征值不是 2 倍的关系，而是 3 倍甚至更多倍数的关系。桩愈短，倍数就越大，但一般不会大于 3.5 倍。至于桩端的持力层，静压桩终压标准与打桩收锤标准一样，将其作为一个定性的控制指标。静压桩一般以强风化岩、全风化岩或密实的砂土层作桩端持力层，在终压施工时，要注意桩端进入持力层的情况，作定性的控制，但这不是非要达到的控制指标，我们要实事求是地进行分析判断，尤其是大面积的群桩工程，往往是先施压的桩尖进入设计要求的持力层比较容易，由于挤土效应，后压的桩进入设计要求的持力层就比先压的桩要浅一些，到最后，有可能进不到设计要求的持力层。这些都是正常现象。除特殊的复杂的地质条件外，一般情况下，只要正确控制终压力值和终压次数，都能达到设计承载力和沉降的要求。

9.6 锤击打桩

9.6.6 收锤标准包括的内容、指标较多，如桩的入土深度、每米沉桩锤击数、最后一米沉桩锤击数、总锤击数、最后贯入度、桩尖进入持力层深度等。一般情况下，桩端持力层、最后贯入度或最后一米沉桩锤击数为主要控制指标，其中桩端持力层作为定性控制指标，最后贯入度或最后一米锤击数作为定量控制指标。其余指标可根据具体情况有所选择作为参考指标。定量指标中用得最多的是最后贯入度，一般以最后三阵（每阵十击）的贯入度来判断该桩能否收锤。而最后贯入度大小又与工程地质条件、桩承载性状、单桩承载力特征值、桩规格及桩入土深度、打桩锤的规格、性能及冲击能量大小、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度等因素有关，需要综合考虑后确认。但由于地质等条件复杂多变，最后贯入度并非是打桩收锤的唯一定量控制指标，应具体情况具体分析，最终目的是为了保证单桩的承载能力，控制建筑物的沉降，使建（构）筑物安全适用。

9.6.7 本条是有关确定收锤标准的途径和方法。重要的工程或应用管桩经验不足的地区或地质条件较为复杂的工程，应通过静载试验桩或试打桩的试验成果经综合考虑确定。一般的乙级或丙级桩基工程，最好也用试打桩的方法来确定，也可参考本规程附录 F 或利用 Hilly（海利）打桩公式的计算结果，同时结合以往经验来确定。

海利公式是国外及广东部分地区广泛采用的打桩收锤公式。用该公式，已知收锤贯入度，可估算单桩承载力；已知单桩承载力特征值，可估算该桩的收锤贯入度。该公式在桩长 5m~20m 范围较为准确。该公式的具体表达式可参见广东省标准《锤击式预应力混凝土管桩基础技术规程》DBJ/T 15-22-2008。

9.6.9 最后贯入度测定方法最好是在打桩机上配装打桩自动记录仪，由打桩自动记录仪来自动记录和反映，既方便又安全。鉴于现状，优先推荐用经纬仪或水准仪测量贯入度，但也不排除其他的人工测量法。

9.6.10 确定最后贯入度的控制指标，主要是要解决好一个“度”的问题。贯入度过大不行，基桩可能达不到设计承载力；贯入度过小也不好，基桩可能被打坏。总之，要“恰如其分”，既能保证桩的承载力，又能保证桩身的完整性。在常规情况下，规程要求所确定的贯入度指标不要小于每阵（十击）20mm。这样做既保护了桩身，又延长了打桩锤的使用寿命。有些特殊的地质条件，如强风化岩层较薄（≤1.0m）且上覆土层又较软弱时，要达到同样的承载力，最后贯入度控制值可适当减少，但不宜小于 15mm/10 击，否则，应从设计入手适当减少单桩竖向抗压承载力特征值。在这种特殊的地质条件下测量一阵贯入度，若贯入度值达到收锤标准时即可收锤，若再打第二阵，管桩就有被打坏的可能。当然，在以全风化岩层、密实砂层、坚硬土层作桩端持力层的管桩工程，应量测最后三阵贯入度值，当每阵贯入度值逐渐递减且最后二阵达到收锤标准时即可收锤终止施打。

9.7 高频液压振动锤沉桩

9.7.1 高频液压振动锤法沉桩适用于以桩长控制为主的摩擦型桩。适用的地层包括软黏土、黏性土、砂土等地层。高频液压振动锤法沉桩由于垂直度控制差、桩身易损坏等因素应用范围较小，目前多用于竖向和水平承载力要求不高的光伏桩基础、滨水栈道桩基础、河道护坡桩等，对于其他场景应用，一定先进行沉桩试验和承载力试验。高频液压振动锤法沉桩由于其速度快，施工便捷、灵活，应用范围会逐渐扩大。

目前常用高频振动锤最大振动频率为 25~60Hz。

9.7.2 目前高频振动锤更多是结合大功率挖掘机使用，根据振动频率、激振力选择配套不同的挖掘机。用于起重机悬吊式液压振动锤顶部为自由端，很难控制垂直度，对于工程桩很少采用。

9.7.3 由于高频液压振动锤施工管桩经验少，每个场地施工前试沉桩是非常必要的，通过试沉桩检验地层可穿透性，液压振动锤的频率、激振力等参数，检验管桩的完整性。

目前高频振动锤夹具或夹嘴主要有两类，一类是在管桩外两面夹持，一类是采用与管桩直径配套的钢桩帽，为防止桩头及桩身损坏，尽可能增大夹具与管桩的加持面积或在桩顶设置减振橡胶块等减震措施。

9.7.4 高频液压振动锤施工管桩停振标准目前没有可依据的标准，只能根据具体工程自行确定。对于承载力很小，以桩长控制时达到设计长度即可停振；对于有一定承载力要求、变形要求或桩端进入持力层一定深度要求的工程，停振标准应结合地层条件、单桩承载力特征值、选用的桩锤规格及施工频率等因素通过静载试验桩确定。

指导现场掌控根据静载试验桩的施工参数以到达桩端持力层时可按每分钟贯入度（cm/min）作为停振标准指标。

9.8 植入法沉桩

9.8.1~9.8.2 近年来，劲性复合桩在国内多个省市得到推广应用，我省工程案例较少，还需要资料收集及经验总结。劲性复合桩的刚性桩采用管桩，植入法沉桩适用于先对软土地层进行搅拌桩、旋喷桩等形成较大直径水泥土桩，在水泥土中植入管桩。

劲性复合桩的水泥土桩的施工目前各地采用设备和工艺不尽相同，尚不能作统一要求，主要应满足设计要求，通用的工艺符合《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的相关规定。

9.9 截桩及缺陷桩处理

正常沉桩施工时，管桩的成桩质量有可靠保证，但在管桩的后续处理时，受人为因素影响较大。本节将有关管桩后续处理的规定集中归纳，并增加了关于缺陷桩加固处理和补桩的规定，更方便实际操作。

9.9.6 一般情况下，在施工时应及时监控桩位偏差，对于偏位较大的桩，应随发现、随处理，避免事后处理。但桩机撤场后验收时才发现的影响工程使用的桩位偏差，以及当承载力不足时所需要的补桩，宜由设计人员根据荷载分布情况及偏位情况综合分析后再制定合理的补桩方案。

9.9.7 当静载试验曲线出现反弯现象，多数情况都是因挤土效应或冻胀效应造成桩身上浮，也有可能是砂土持力层受承压水头作用产生土体流失，持力层密实度降低所造成的。这些桩的明显特点是：①出现反弯点后，当桩顶沉降达到一定数值后，桩端阻力还可以正常发挥，承载力虽然能够满足设计要求，但相应的沉降变形很大；②当总沉降量超出规范要求，单桩承载力不满足设计要求时，若重新再做一次静载试验，其承载力往往又会满足设计要求。

10　质量检测和工程验收

10.1　桩身及桩尖的检查和检测

10.1.4　目前，有些厂家对桩套箍的高度、板厚也进行“缩水”，应按本规程的规定进行抽检，不合格者不予验收。管桩的预应力筋锚固在端板上、焊接接桩时通过电焊坡口满焊将两根桩连成整体，端板的质量非常重要，因此检查的重点应放在对端板的材质、厚度和电焊坡口尺寸的检查上。端板厚度偏薄是整个行业的倾向，不合格者不准使用。电焊坡口尺寸不规范，也是普遍存在的问题，坡口尺寸不合格的管桩也不准使用。端板、桩套箍所用的钢板材质应采用 Q235B，端板钢材的化学成分和力学性能应符合现行行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 中有详细规定，可焊性或耐久性差的钢材应禁止使用。端板材质的抽检滞后于管桩的施工，一旦检查出管桩端板不合格，则已打入的基桩应采取处理措施，如降低承载力、补桩等。因此，要求管桩生产厂应严格按规范（规程）的有关规定执行，免得引起不必要的麻烦。

10.1.5　管桩结构构造筋方面存在的主要问题是：预应力钢棒的数量不足，尤其是钢棒直径偏小，箍筋的直径偏小，间隔过大，加密区的长度缩短。还有少数厂所用的钢棒和箍筋的材质也存在问题，另外，钢筋的混凝土保护层厚度对基桩的耐久性至关重要，因此，需要重点抽查。检测预应力钢棒

规格应符合现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 的规定。凡发现不合格者，该批管桩均不得验收使用。已使用者应采取有效的处理措施，尤其是抗拔桩。因此，要求管桩生产厂应严格按有关规定生产管桩。

10.2　压桩过程中的工程质量检查和检测

10.2.4　第一节底桩垂直度控制得好坏对整根桩的垂直度影响至关重要，因此对底桩垂直度控制要严格一些，不得大于 0.3 %。送桩以后桩身垂直度偏差不易测量，故在送桩前应测量一次。一般在送桩深度≤2.0m 的情况下，送桩前后的桩身垂直度不会有大的变化，故送桩前测量的桩身垂直度有时可作为送桩后的桩身垂直度，但在深基坑内的基桩，有时由于基坑土方开挖不当会引起桩身倾斜，故在基坑土方开挖后，需再次测量桩身垂直度，最后以这次测量成果作为成桩后的桩身垂直度。

10.5 成桩质量检测

10.5.5　第 1 款是采用人工目测检查。这里强调要发挥静压管桩空心的特点，以便采用低压灯泡吊入成桩内孔作桩身完整性检查。在实际施工中，有经验的沉桩施工队往往用这种方法来自我检查成桩质量，因为灯光照亮成桩内壁，其成桩质量好坏一目了然，还可以实测其实际桩长，杜绝虚报桩长的行为。有条件的工地，可用孔内摄像仪进行检查，尤其是简易孔内摄像仪，对施工单位来说，价格便宜，使用方便，值得推广应用。

第 2 款是对采用低应变动测法进行桩身完整性检测和用静载荷试验进行单桩竖向抗压承载力检测的有关规定。这样的检测方法和检测程序都是传统的做法。

第 3 款鉴于低应变动测法测试和判断多节静压桩的完整性有一定的局限性，鼓励用高应变动测法对管桩同时进行桩身完整性和单桩竖向抗压承载力的检测方法，前提是具备本场地的静动对比试验资料。总体要求：抽检桩数不应少于同条件下总桩数的 8 %，且不得少于 10 根。

10.5.8　单桩静载荷试验显示：当桩端土为砂土、碎石土时，休止时间越短，承载力越高，因此，规定休止时间不得太短；当为摩擦桩时，休止时间越长，承载力越高。所以，在少于规定的休止时间内进行试验的结果若不能满足设计要求（或与设计要求出入不太大时），应按规定休止时间重新试验。

10.6　验证与扩大检测

1 以往的实际工作中，当管桩基础出现较严重的质量问题时，设计和检测人员往往不知道如何继续进行工作。本次修编将验证检测和扩大检测部分单列成一节，做了明确的、可操作性较强的规定。当如果扩大检测和验证检测后发现 III 类、IV 类数量仍然较多时，说明管桩质量问题很严重，这时应进行专家论证，与设计、施工、监理等部门共同研究处理方法。

2 正常情况下，I、II 类桩的承载力是能够满足设计要求的。对于低应变检测完整性预判结果为 III 类的管桩，尽管桩身存在明显的缺陷，但其承载力不一定不满足设计要求，因此需要采用其他检测方法进行验证检测，综合判定其类别。

3 对于缺陷位置较浅的桩，开挖检测是最为直观的验证检测方法，因此本条推荐采用此方法，并做了详细的规定。

4 由于管桩生产厂家质量保证体系不尽完善，在用桩高峰时期，管桩的养护条件往往达不到要求，造成现场沉桩时桩身破损率很高的事件。但桩基检测单位一般也无合适的方法进行桩身混凝土强度的现场检验，检测结果也不具说服力，所以具体操作时应上报工程所在地的质量管理部门，由其组织相关部门研究解决。